



## **Utilização de imagens de alta resolução de Detecção Remota na gestão do montado de sobro**

**Manuel Francisco Figueiredo Espírito Santo Penteado**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Agronómica**

Orientador: Doutor Pedro Jorge Cravo Aguiar Pinto

Coorientador: Doutor Ricardo Nuno Fonseca Garcia Pereira Braga

**Júri:**

Presidente: Doutor José Miguel Oliveira Cardoso Pereira, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor José Luís Monteiro Teixeira, Professor Associado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutor Ricardo Nuno Fonseca Garcia Pereira Braga, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

## Agradecimentos

Quero agradecer a todos os que de alguma forma contribuíram para que o meu percurso académico no Instituto Superior de Agronomia e a minha vida fossem melhores:

Ao professor Ricardo Braga pela enorme ajuda com a elaboração desta dissertação e percurso de mestrado.

Ao professor Pedro Aguiar Pinto pela ajuda ao longo de todo o meu percurso no instituto.

Prof. José Miguel Cardoso Pereira pelos comentários construtivos à versão provisória da dissertação que em muito enriqueceram a qualidade final do documento discutido.

À Sociedade Agrícola Moinho da Falcoeira, em especial a Isabel e Duarte d'Orey Manoel, pela predisposição na colaboração da realização deste estudo.

Aos meus amigos e colegas pela união, e por todos os momentos passados dentro e fora do ISA.

À minha mãe, a toda a minha família, à Maria e à sua família, por todos contribuírem para que meu dia a dia seja sempre melhor e por me ajudarem no que precisasse para estudar.

**Por fim, um agradecimento muito especial aos meus pais, a quem dedico esta dissertação.**

## Resumo

Este trabalho consiste no estudo de uma tecnologia utilizada em agricultura de precisão: detecção remota. A detecção remota em gestão florestal já tem, nos dias de hoje, um importante papel, ajudando na prevenção e combate a incêndios, estudos de sanidade, inventário, cartografia e estudos de produção, sendo este último o tema que foi estudado na aplicação desta tecnologia à gestão do montado de sobro.

Nesta dissertação foram recolhidos dados no campo necessários à realização de inventário florestal. Os dados recolhidos foram analisados e correlacionados com índices de vegetação e geométricos obtidos por imagens captadas por uma câmara de alta resolução montada num avião. As imagens captadas constituem uma forma eficiente e barata de recolha de informação, podendo ser comparada com os dados de campo com auxílio de modelos ajustados, tornando possível explicar a variabilidade espacial da produtividade e qualidade de cortiça. A utilização dos canais de RGB e infravermelho, permitiram calcular índices de vegetação como o NDVI, o PCD e IPVI capazes de encontrar fortes relações com os dados de campo.

Os modelos ajustados, calculados com os valores dos índices de vegetação e geométricos conseguiram explicar 83% da variabilidade espacial da produtividade de cortiça encontrada no montado em estudo e, 76% da variabilidade da classificação relativa à qualidade da cortiça.

Com os resultados obtidos neste estudo, de futuro será possível prever e retirar conclusões fidedignas e de precisão relativas à quantidade e qualidade da produção de cortiça, no mesmo montado, ou noutro, apenas por detecção remota.

**Palavras-chave:** Agricultura de Precisão; Detecção Remota; Produção de cortiça; Índices de Vegetação; NDVI

## Abstract

This work consists in a study of a useful technology applied in precision agriculture: remote sensing. Remote sensing in forest management has nowadays, an important role, enabling to prevent and fight forest fires, to study the plant sanitary state, to inventory, and, more importantly, to estimate forest production. Forest production is the topic of this study, applying this technology to cork forest management.

In this thesis we collected data in the field, essential to the forest inventory. We analyzed the data and correlated with remote sensing data (through the calculation of several vegetation and geometric indices) captured by a ultra-high resolution camera attached to an airplane. The images constituted a efficient and cheap way to get information able to be compared with the field data through adjusted models, in order to explain the spatial variability of the productivity and quality of cork. Using the visible and infrared bands, it was possible to calculate the vegetation indices like NDVI, PCD and IPVI that were able to find strong relations with the field data.

The adjusted models were able to explain 58% of the spatial variability of the cork productivity from the cork oak forest we studied and they even able to explain 50% of the spatial variability of cork's quality.

With the results obtained of this study, in the future we will be able to predict and get accurate and reliable conclusions related to the productivity and quality of cork, just through the use of remote sensing.

**Key words:** Precision Agriculture; Remote Sensing; Cork production; Vegetation Indices; NDVI

## Extended Abstract

The main objective of this dissertation is to evaluate the spatial variability of cork's productivity and quality, in a traditional cork oak forest, using a precision agriculture tool such as remote sensing. To make a turn at the efficiency, remote sensing has been growing in agriculture, and one of the adopted tools was the aerial images, using airplanes and satellite, depending on the resolution needed. Once precision agriculture is used to manage the spatial variability, remote sensing is the primary tool to detect it and explain the reason, so the applications can be done in a more efficient and precise way. Remote sensing in forest management is already used to prevent and fight forest fires, to study the plant sanitary state, to inventory, and forest production. With this knowledge it is possible to estimate the cork production in trees, such as their productivity and commercial quality.

To accomplish the dissertation's objectives, we chose an example of a traditional cork oak forest in Aguiar (Alentejo) and then we took field data from the sample trees so we could correlate it with the vegetation indices calculated through the aerial images, such as NDVI, PCD and IPVI and some geometrical indices. Field geometrical data had already shown great relation with the productivity of cork, so it was expected at the beginning some good results with the remote sensing geometrical indices.

For this study the chosen variables were cork productivity and quality because of their primary importance for the cork oak forest management. And as a traditional system, cork oak forests can be presented in large areas, with aerial images they could be studied and managed in faster, easier and reliable way.

As it was already said, geometrical indices showed strong relationship with productivity but no relation with the quality of cork. In the other hand the vegetation indices showed that they are somehow related to both variables, with stronger relations with indices like NDVI, PVR, PCD, S and I. Using these indices, adjusted models were created to explain the spatial variability that our variables showed in the field. The models were able to explain 58% of the variability of productivity and 50% of the variability of cork quality. So, with these models it is possible to image a whole new concept of cork production in traditional cork oak forests using the aerial images of remote sensing technology, estimating already the yield and cork quality for an entire forest, when the cork is still on the trees.

# Índice

Agradecimentos .....	i
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Extended Abstract.....	v
Índice de figuras.....	viii
Índice de quadros.....	x
1. INTRODUÇÃO .....	11
1.1. Objectivos .....	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1. Montado de sobro e produção de cortiça.....	13
2.1.1. Distribuição geográfica .....	13
2.1.2. Sistema agro-silvo-pastoril .....	16
2.1.3. Botânica e fisiologia.....	17
2.1.4. Gestão florestal .....	19
2.1.5. Descortiçamento .....	21
2.1.6. Factores determinantes na produção de cortiça .....	22
2.1.7. Qualidade da Cortiça .....	26
2.2. Agricultura de Precisão .....	29
2.2.1. Conceito .....	29
2.2.2. Tecnologias .....	30
2.3. Tecnologia de Detecção Remota.....	34
2.3.1. Conceito .....	34
2.3.2. Índices de Vegetação .....	36
2.3.3. Aplicação florestal e silvicultura de precisão .....	38
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	39
3.1. Descrição da Parcela .....	39
3.1.1. Forma de exploração do montado .....	39
3.1.2. Caracterização climática.....	40

3.1.3. Caracterização edáfica .....	42
Perfil Solo Pg .....	42
Perfil Solo Pgm .....	43
3.2. Delineamento experimental e metodologia geral do ensaio .....	44
3.3. Metodologia de recolha de dados de campo .....	44
3.3.1. Classificação - Dados da qualidade (Coveless CQ05).....	44
3.3.2. Perímetro à altura do peito e na base.....	45
3.3.3. Alturas (total, fuste, bifurcação, base da copa e descortiçamento) .....	46
3.3.4. Raios das copas.....	47
3.3.5. Produtividade .....	48
3.4. Modelos de produtividade para a cortiça .....	50
3.4.1. Parâmetros Estatísticos.....	51
3.5. Índices de vegetação.....	56
3.6. Índices geométricos da copa .....	59
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	60
4.1. Dados de campo .....	60
4.1.1. Estatística descritiva .....	60
4.1.2. Distribuição espacial da produtividade e classificação.....	63
4.2. Índices de vegetação e índices geométricos da copa.....	65
4.2.1. Estatística descritiva .....	65
4.2.2. Distribuição espacial.....	68
4.3. Correlação e modelação.....	71
4.3.1. Análise de correlação .....	71
4.3.2. Modelação.....	79
5. CONCLUSÕES .....	85
6. BIBLIOGRAFIA .....	87
7. ANEXOS .....	96

## Índice de figuras

Figura 1. Distribuição do montado de sobreiro em Portugal e no mundo	13
Figura 2. Caracterização da floresta portuguesa	15
Figura 3. Estrutura do tronco do sobreiro ( <i>Quercus suber</i> L.)	19
Figura 4. Cronologia das actividades de condução e exploração dos povoamentos de sobreiro	20
Figura 5. Descortiçamento de sobreiro	21
Figura 6. Comparação entre pranchas de cortiça com diferentes espessuras e qualidade	27
Figura 7. Ciclo de Agricultura de Precisão	29
Figura 8. Representação das camadas de informação num SIG	31
Figura 9. Esquematização de um exemplo de detecção remota	34
Figura 10. Espectro electromagnético	35
Figura 11. Assinaturas espectrais de vegetação verde, vegetação seca e solo	36
Figura 12. Exemplo de uma carta RGB e NDVI	37
Figura 13. Imagem da parcela em estudo, delimitada pela linha laranja	39
Figura 14. Descortiçamento de sobreiros da parcela em estudo	40
Figura 15. Diagrama ombrotérmico de Gaussen para Évora, Período de 2003 a 2012	41
Figura 16. Diagrama ombrotérmico de Gaussen para Évora, 2012	41
Figura 17. Precipitação acumulada de Julho de 2003 a Junho de 2012, Évora	42
Figura 18. Marcação dos sobreiros pertencentes à amostra	44
Figura 19. Análise da cortiça na árvore com Covless CQ05	45
Figura 20. Medição de perímetro à altura do peito	46
Figura 21. Medição de altura de descortiçamento	47
Figura 22. Medição dos raios da copa	48
Figura 23. Pilha da cortiça total pertencente a um só sobreiro	48
Figura 24. Pesagem da cortiça com balança digital de mão	49
Figura 25. Exemplo de individualização de copas com centróide - a) copas das árvores; b) individualização das copas e c) copas individualizadas com centróides	56
Figura 26. Produtividade de cortiça das árvores amostradas	63
Figura 27. Carta de classificação da qualidade da cortiça das árvores amostradas	64
Figura 28. Cartas de Área da copa e NDGRI da parcela, respectivamente	68
Figura 29. Cartas de Raio com base no perímetro e Raio com base na área, respectivamente	69
Figura 30. Carta do Perímetro da copa	70



Figura 31. Correlação de Produtividade (kg/árvore) com Área, Raio, Raio com base na área e Raio com base no perímetro	76
Figura 32. Correlação de Produtividade (kg/árvore) com S, I e SGB	77
Figura 33. Correlação de Classificação com NDVI, PCD, IPVI e DVI	78

## Índice de quadros

Quadro 1. Área do montado de sobre	14
Quadro 2. Classificação comercial de calibre para a prancha de cortiça	27
Quadro 3. Estatística descritiva dos dados de campo recolhidos no campo	62
Quadro 4. Estatística descritiva dos índices geométricos e de vegetação das árvores amostradas	66
Quadro 5. Estatística descritiva dos índices geométricos e de vegetação de todas as árvores da parcela em estudo	67
Quadro 6. Análise de correlação das variáveis dos dados de campo ( $p < 0,05$ ).	73
Quadro 7. Análise de correlação das variáveis de detecção remota ( $p < 0,05$ ).	74
Quadro 8. Análise de correlação entre os dados de campo e dados de detecção remota ( $p < 0,05$ ).	75
Quadro 9. Modelos ajustados para a variável dependente Produtividade com base em dados obtidos por detecção remota. Com coeficientes de regressão estandardizados	80
Quadro 10. Análise dos modelos propostos por outros autores, com base em dados de campo A negrito encontra-se o melhor modelo	80
Quadro 11. Análise comparativa entre os melhores modelos para a Produtividade, com base em dados de detecção remota e dados de inventário recolhidos no campo, respectivamente	82
Quadro 13. Análise do modelo para a classificação da qualidade de cortiça com base em dados de detecção remota	84
Quadro 12. Modelos ajustados para a variável dependente Classificação com base em dados obtidos por detecção remota. Com coeficientes de regressão estandardizados	84

# 1. INTRODUÇÃO

Nos tempos antecedentes à revolução industrial, a agricultura evidenciava-se como uma prática de subsistência, de pequena escala, e com muito recurso a mão-de-obra. A falta da máquina agrícola levava a que numa pequena parcela familiar, a mão-de obra fosse insuficiente. Com a revolução industrial, o Homem passa a ter acesso a maquinaria agrícola, que tem vindo a ser cada vez mais imprescindível no que toca à competitividade, reduzindo a necessidade de grande parte da mão-de-obra nas operações culturais.

O que a história refere como a grande impulsão na agricultura desde a revolução industrial, nos dias de hoje começa a alterar-se, em grande parte devido à consciência ambiental. A introdução de fitoquímicos e fertilizantes de síntese, começa a ser vista como um ponto a alterar, ou pelos menos a sua forma de emprego. Ao contrário do que se fazia sentir antes da utilização destes factores de produção, hoje os campos agrícolas são tratados de forma homogénea, obtendo-se no fim da campanha uma produção heterogénea (em quantidade e qualidade), devido ao desprezo dado a outros factores que geram grande variabilidade para a cultura, como o solo, topografia, etc.

A necessidade de se alterar este rumo originou a criação de outra forma de ver a produção e gestão agrícola, surgindo o conceito de agricultura de precisão. Este conceito está normalmente associado ao uso de equipamento de alta tecnologia, para avaliação e monitorização das condições de uma parcela de terreno, para aplicar depois os diversos factores de produção em conformidade (Coelho *et al.*, 2004). Desta forma, a agricultura de precisão poderá resolver as lacunas criadas pela variabilidade, com a aplicação de factores de produção de forma diferenciada, alcançando-se produções quantitativa e qualitativamente homogéneas, caminhando sempre para a produção potencial da cultura, reduzindo a introdução de factores de produção de forma a preservar o ambiente.

Em agricultura de precisão são utilizadas diversas tecnologias, GPS, SIG, análise de solos, sistemas de monitorização de produtividade, VRT e detecção remota. Neste trabalho será dada maior relevância à detecção remota pela sua propagação em projectos florestais, tendo nos dias de hoje grande relevância na prevenção e combate a incêndios, em estudos de sanidade, inventário, cartografia e estudos de produção florestal.

Neste trabalho será levado a cabo o estudo de gestão de produção de cortiça no montado de sobro, dando destaque à detecção remota, possibilitando o acesso a informação facilmente adquirida. A importância deste estudo está directamente relacionada com a

relevância do comércio de cortiça, uma vez que atingiu 845 milhões de euros em exportações (INE, 2013), no ano de 2012, representando 0,5% do PIB nacional.

O montado de sobro pode ser visto como um sistema agro-silvo-pastoril complexo e de enorme importância para a nossa cultura e país. O montado de sobro destaca-se dos outros sistemas florestais de diversas formas, albergando sob o copado das árvores uma vasta variedade de possibilidades de exploração, entre elas as pastagens, pastoreio de gado, caça, entre muitas outras. À parte destas particularidades, o montado de sobro oferece uma matéria-prima única, a cortiça, com propriedades específicas e de elevado interesse económico. A exploração de cortiça tem a particularidade de ser um recurso altamente sustentável já que não implica o abate das árvores. O uso da cortiça está nos dias de hoje alargado, sendo utilizada em áreas distintas como rolhas vedantes, na construção civil, em vestuário, cosmética, entre outros.

O sobreiro tem uma área de dispersão pequena, restringindo-se à zona mediterrânica, distribuindo-se por Portugal, Espanha, França, Itália, Tunísia, Argélia e Marrocos. Em Portugal esta espécie ocupa cerca de 23% do total da área florestal, inserindo-se maioritariamente abaixo do rio Tejo (AFN, 2010).

Tendo em conta todas as características da cortiça e do sistema do montado de sobro, a introdução de novas tecnologias como a detecção remota nesta área, apresenta elevado interesse, prestando um serviço.

## **1.1. Objectivos**

Os objectivos da dissertação são:

- avaliar a variabilidade espacial da produtividade e classificação de cortiça num montado de sobro;
- avaliar a performance dos índices vegetativos e geométricos obtidos por detecção remota na modelação da produtividade e classificação da cortiça num montado de sobro.

Demonstrando a existência de variabilidade espacial quer da qualidade, quer da produtividade de cortiça, e que os índices de vegetação e geométricos são capazes de explicar essa variabilidade, torna-se possível aceitar a Detecção Remota uma eficaz ferramenta de gestão do montado de sobro

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Montado de sobro e produção de cortiça

#### 2.1.1. Distribuição geográfica

O sobreiro espalhou-se pela zona mediterrânica, de forma próspera, possibilitando ao Homem criar um sistema agro-silvo-pastoril. Apesar de ser uma espécie claramente associada ao clima mediterrânico, Natividade (1950) refere que a sua marcada distribuição não pode ser directamente associada a uma preferência por determinadas condições edafo-climáticas, mas sim às variadas circunstâncias que ao longo do tempo favoreceram ou contrariaram a sobrevivência do sobreiro.

A distribuição do montado de sobro, pelo mundo, é feita por 7 países mediterrânicos, situados no extremo Oeste do Mediterrâneo (figura 1), tendo em conta a definição de Alves *et al.* (2012) para "montado" de sobro, descrevendo-o como uma formação vegetal onde se verifica a presença de sobreiros associados entre si e com outras espécies.

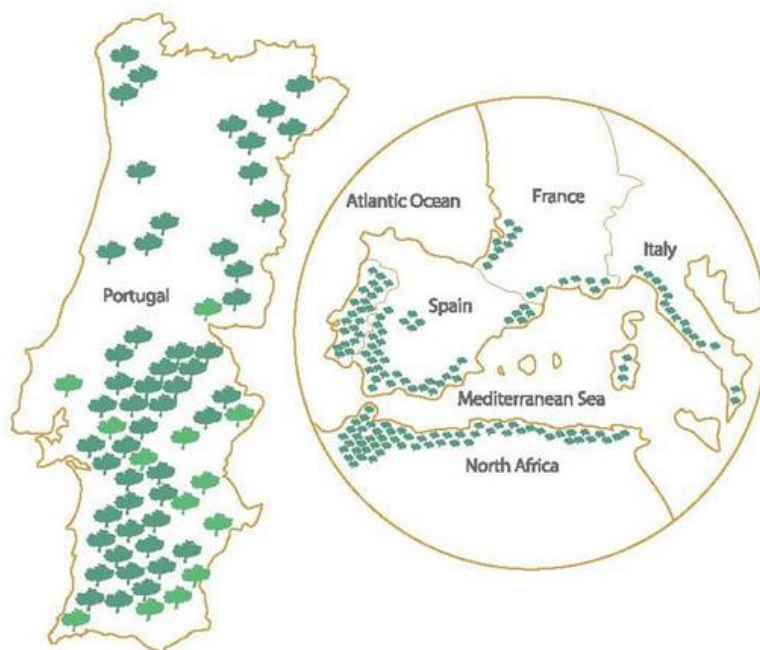


Figura 1. Distribuição do montado de sobro em Portugal e no mundo

Adaptado de APCOR (s/data)

Segundo Pereira (2007) o sobreiro (*Quercus suber* L.) terá tido origem no que é agora o mar Tirreno, tendo-se espalhado posteriormente pelo Sul da Europa e Norte de África. Outros autores, como Fortes *et al.* (2004) e Aronson *et al.* (2009) também fazem referência ao mar Tirreno como a região de origem do sobreiro.

O montado de sobreiro cobre, no mundo, um total de 2119089ha, sendo que, dessa área 61% se encontra na península Ibérica (AFN, 2010). Observando o quadro 1 pode-se verificar que Portugal se destaca como o país com a maior representação no total de área mundial de montado de sobreiro, com aproximadamente 1,25 vezes mais área que Espanha que por sua vez possui a segunda maior área. Desta forma, a península Ibérica não se destaca apenas pela área de montado portuguesa, mas sim por ser formada pelos dois países com maior área de montado no mundo. No norte de África, Marrocos é o país com maior área total, colocando-se na tabela como o terceiro país com maior área mundial, seguindo-se da Argélia e Tunísia. Embora com menor relevância, mas ainda assim com presença marcada, este montado apresenta-se por fim em França, com 65228ha e em Itália com 64800ha.

**Quadro 1. Área do montado de sobreiro**

País	Área (ha)	%
<b>Portugal</b>	715922	34
<b>Espanha</b>	574248	27
<b>Marrocos</b>	383120	18
<b>Argélia</b>	230000	11
<b>Tunísia</b>	85771	4
<b>França</b>	65228	3
<b>Itália</b>	64800	3
<b>Total</b>	2119089	100

Fonte: Portugal: Autoridade Nacional Florestal (AFN), 2010; Espanha: MARM, 2007; Itália: FAO, 2005; França: IM Liège, 2005; Marrocos: HCEF Maroc, 2011; Argélia: EFI, 2009; Tunísia: Ben Jamaa, 2011

Em Portugal, a área de montado de sobreiro tem vindo a crescer de forma gradual. Ainda que se verifique um aumento da área do montado de sobreiro em território nacional, este não se faz sentir de uma forma acentuada, sendo as áreas em questão, consideradas pela AFN (2010) em estado de *manutenção*. Esta situação do sobreiro em território nacional só é possível com a criação de leis que promovem a protecção desta espécie por parte da população. Segundo o Decreto-Lei 11/97 (14 de Janeiro), por estar inserido numa estratégia mundial de conservação, o sobreiro, salvo exceções raras, não pode ser cortado ou arrancado. Este plano de conservação do sobreiro possibilita o crescimento e a constante manutenção das áreas de montado no mundo.

Portugal é o maior produtor de cortiça, tendo produzido cerca de 100000t no ano de 2012, o que representa 49,6% da produção mundial de cortiça que atingiu 201428t no mesmo ano (Gonçalves, 2012). Tal como na produção, Portugal lidera as exportações mundiais, representando cerca de 62% do total de cortiça exportada no mundo, o que correspondeu a 804,7 milhões de euros no ano 2011 (Gonçalves, 2012) e 845 milhões de euros no ano de 2012 (INE, 2013). A nível nacional, a exportação de cortiça tem um peso de 2% do total de exportações, representando 30% das exportações de produtos florestais (INE, 2013).

Segundo a AFN (2010), a floresta ocupava um total de 3458557ha do território nacional, em 2010. Este valor coloca a floresta em primeiro lugar na ocupação do território português, representando cerca de 39% do seu território total. Do território ocupado pela floresta, cerca de 96% é ocupado por apenas 7 espécies florestais, entre elas, o pinheiro-bravo, o sobreiro, o eucalipto, a azinheira, os carvalhos, o pinheiro-manso e o castanheiro (figura 2). Dentro da lista de espécies florestais, o sobreiro detém o terceiro lugar (muito próximo do segundo; eucalipto) representando cerca de 23% do total da ocupação do solo pelas florestas em território nacional (Alves *et al.*, 2012).

Da área total de montado de sobro, que se encontra em Portugal, a grande maioria está situada a sul do rio Tejo. Como se pode observar pelo gráfico, a distribuição é feita da seguinte forma: 84% na região do Alentejo, 6% na região centro; 5% no Algarve; 3% na região de Lisboa e Vale do Tejo e 2% na região Norte (AFN, 2010).

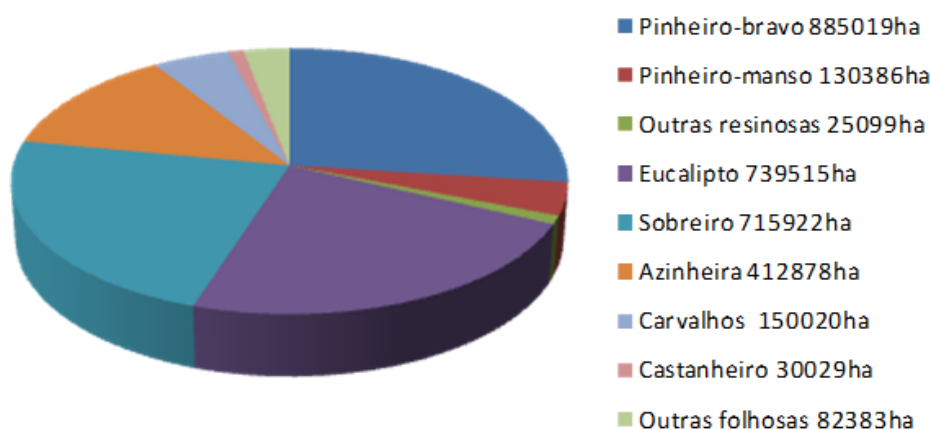


Figura 2. Caracterização da floresta portuguesa

Fonte: AFN, 2010

### 2.1.2. Sistema agro-silvo-pastoril

O montado de sobro nunca foi considerado um sistema muito produtivo, tanto para agricultura, para a produção florestal bem como para a produção animal. Tendo conhecimento desta limitação, o Homem aprendeu a retirar vantagem da sua heterogenia e grande biodiversidade, e desta forma moldou este sistema de forma a oferecer uma grande diversidade de produtos, onde se incluem os cereais, as pastagens e animais de pastoreio, a lenha e carvão vegetal, frutos, bagas, óleos, cogumelos e mais recentemente a cortiça (Aronson *et al.*, 2009; Costa *et al.*, 2007a).

A produção animal no montado varia de cultura para cultura, variando assim as espécies animais, a pastagem existente e o manejo dos mesmos. Na península Ibérica, bem como nas ilhas mediterrânicas, produzem-se espécies ovinas, caprinas, bovinas e suínos. Cada espécie oferece produtos diferentes, estando a pele, fibra, carne e leite associados ao gado caprino e ovino. Esta variedade de produtos promoveu que ao longo da história do montado fossem estas as espécies de maior importância (Aronson *et al.*, 2009). O seu manejo e as pastagens pobres, obrigavam os produtores a procurar alternativas de alimento nas estações mais secas, solucionando-se este problema (num passado próximo) com deslocações para outras terras, servindo de exemplo a transumância. No presente a alternativa à transumância é a conservação de alimentos (farinhas e forragens) para distribuir quando as pastagens naturais começam a escassear no princípio do Verão.

Apesar da fraca apetência do sistema de montado para o pastoreio, esta foi em parte contornada com a introdução de leguminosas como os trevos (*Trifolium* spp.) e a luzerna (*Medicago* spp.), melhorando significativamente, não só a quantidade de produção com a fixação de azoto, mas também à sua qualidade (Crespo *et al.*, 2004). Ainda que o problema da falta de alimento seja um facto na produção animal no montado, a produção de gado bovino tem vindo a ganhar cada vez mais espaço, devido aos apoios criados para a produção desta espécie, aquando da reforma da PAC (Política Agrícola Comum) de 2003 (Aronson *et al.*, 2009).

Os cereais, apesar da sua produção ter sido bastante reduzida nos últimos anos, tiveram grande importância na história produtiva do montado. Os montados de sobro forneciam cereais como o trigo, cevada, aveia e centeio, em sistemas de rotação feitos com leguminosas. Assim o solo não só era aproveitado para produzir pastagens, mas também cereais para alimentação humana.

O montado de sobro é o principal habitat de pequenas e grandes espécies selvagens na Península Ibérica, e desta forma a caça obteve um importante papel na gestão da fauna



selvagem. A caça pode gerar receitas para o agricultor de diversas formas, seja pela venda de peças de caça ou troféus, ou até mesmo por arrendamento de portas de caça (Aronson *et al.*, 2009).

### 2.1.3. Botânica e fisiologia

O sobreiro tem como nome científico *Quercus suber L.* e é uma quercínea pertencente à ordem das *Fagales* e à família das *Fagaceae* (Fortes *et al.*, 2004). O sobreiro é uma espécie angiospérmica e dicotiledónea (Costa *et al.*, 2007b). Por ser uma espécie alogâmica, a fecundação das flores femininas de um indivíduo é feita pelo pólen de outra flor do mesmo indivíduo ou de outro (Costa *et al.*, 2007b). Uma consequência da sua alogamia é o seu polimorfismo, demonstrando diferenças botânicas entre árvores da mesma espécie, ao nível da forma da árvore, período de floração, forma e tamanho das folhas, flores e glandes (Pereira, 2007). Desta espécie arbórea conhecem-se mais de 40 variedades que foram agrupadas em 4 grandes grupos: a genuína, a subcrinita, a macrocarpa e a *occidentalis* (Natividade, 1950).

Distinguindo-se dos outros carvalhos, o sobreiro apresenta 3 características únicas: o desenvolvimento considerável do invólucro suberoso do tronco e dos ramos; a faculdade de regenerar uma nova camada de cortiça depois da camada anterior ter sido removida; e por fim, a homogeneidade e pureza do tecido suberoso e as suas notáveis propriedades físicas, mecânicas e químicas (Natividade, 1950).

Esta espécie arbórea, isolada, apresenta um porte característico de um carvalho, com fuste entroncado, cilíndrico, bifurcado a uma altura baixa, e com pernas robustas com abertura superior a 45° (Costa *et al.*, 2007b). Para Pereira (2007) o sobreiro não ultrapassa os 16m de altura, embora Aronson *et al.* (2009) refira que esta espécie pode atingir os 20m. Os sobreiros apesar de serem considerados árvores pequenas, indivíduos que cresçam em espaços abertos conseguem atingir valores de perímetro elevados, pois como Costa *et al.* (2007b) refere, o sobreiro pode atingir 20m na copa e 6m de perímetro de tronco, à altura do peito. Pereira (2007) salienta que existem até exemplares desta espécie, com 150-200 anos que chegam a atingir 500m<sup>2</sup> de área de projeção.

A raiz do sobreiro demonstra, logo após a germinação, uma forma vigorosa, aprumada e profunda, de forma a proporcionar boa fixação nos solos leves. Mais tarde desenvolve raízes laterais (horizontais), características dos xerófitos, capazes de suportar o peso da árvore adulta (Natividade, 1950). A sua raiz central desenvolve-se a grande profundidade, de forma a conseguir obter água nas épocas secas (Pereira, 2007). Os ramos apresentam gomos ovóides protegidos por brácteas tomentosas, onde se desenvolve um novo

prolongamento do ramo, que tanto pode acontecer no gomo terminal como noutra qualquer a meio do ramo (Natividade, 1950).

O polimorfismo do sobreiro leva a uma gama variada de formas que as folhas podem apresentar de árvore para árvore, mas ainda assim existem determinadas características idênticas entre elas. As folhas desta espécie apresentam uma curvatura conchiforme do limbo que cobre a página inferior de forma evitar perdas de água em épocas de seca (Natividade, 1950). A cor mais comum das folhas é o verde escuro, com densa pubescência branca na face inferior, apresentando uma forma ovóide ou oblonga, com um comprimento de 4 a 7cm e com 2 a 3cm de largura (Pereira, 2007).

As folhas mantêm-se durante dois ou até três anos na árvore, podendo o sobreiro perder as folhas todas em casos de povoamentos muito densos ou de seca (Natividade, 1950).

A floração e frutificação do sobreiro começa cerca dos 15-20 anos de idade da árvore, e o seu período inicia-se em Abril, terminando em Maio. As flores femininas localizam-se na axila das folhas jovens (Pereira, 2007), já as flores masculinas surgem nas extremidades dos ramos do ano anterior (Costa *et al.*, 2007b). A diferenciação dos óvulos só se dá um mês e meio depois da polinização, e desta forma o mesmo acontece com a fertilização (Pereira, 2007).

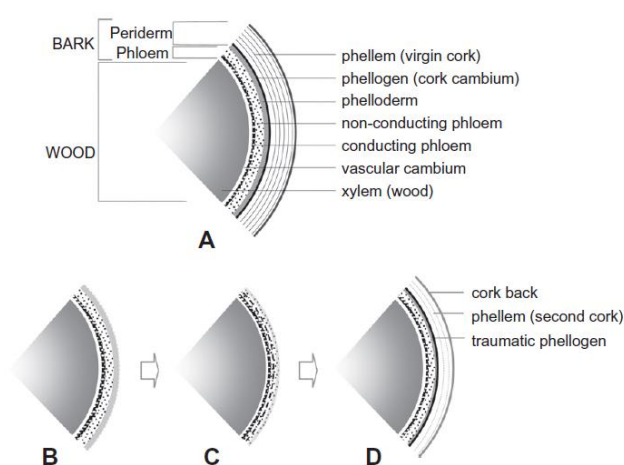
O resultado da fertilização das flores femininas é uma glande com o nome de lande, que surge entre Novembro e Janeiro (Costa *et al.*, 2007b). Esta pode ir dos 2 aos 5cm de comprimento, apresentando formas diversificadas de árvore para árvore (Pereira, 2007).

Numa observação global pode dizer-se que o tronco do sobreiro se divide em duas grandes partes (figura 3): a região interior representada pelo xilema, e a parte exterior representada pela casca. Por sua vez, a casca também se divide em duas partes mais pequenas: o floema, gerado pelo câmbio que se encontra na extremidade do xilema; e na parte mais exterior do tronco encontra-se a periderme, resultado da divisão celular de outro meristema, o felogénio.

No primeiro ano de formação do tronco ou ramos, a camada exterior que se forma com uma função protectora é a epiderme. Com o crescimento radial da planta, as células da epiderme vão acompanhando a evolução, esticando-se tangencialmente, até não conseguir acompanhar mais o crescimento, fraturando as ligações entre as células desta camada protectora. Entretanto, desenvolve-se entre a epiderme e o floema activo uma nova camada de células denominada felogénio, inicialmente constituída por uma só camada de células. Aquando da ruptura da epiderme, as células do felogénio promovem divisões periclinais, criando cada célula, duas células idênticas entre si, situando-se uma na parte mais interior do

felogénio e outra na parte exterior, sendo o desenvolvimento paralelo à tangente. De seguida, a camada externa de células do felogénio repete a divisão, criando assim uma camada de 3 células de felogénio. O último processo irá repetir-se sucessivamente, tornando-se a terceira camada de células (felogénio não-funcional) numa nova camada de cortiça sempre que ocorre uma divisão periclinal das células da segunda camada do felogénio. O felogénio pode no entanto ser constituído por apenas uma ou até três camadas de células.

As células da cortiça são, desta forma, células mortas que formam uma camada espessa, suberosa, nas extremidades do tronco, isto é, são constituídas por suberina.



**Figura 3. Estrutura do tronco do sobreiro (*Quercus suber* L.)**

**Adaptado de Oliveira *et al.* (2012)**

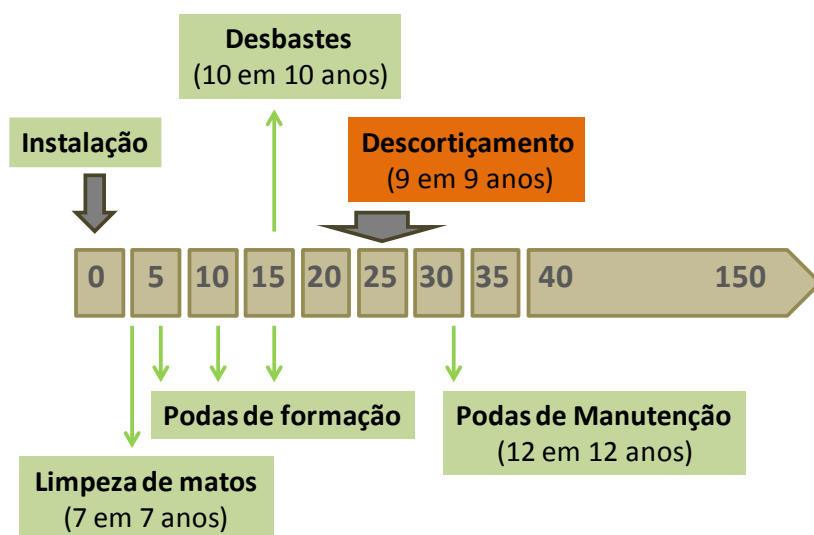
Quando a árvore é sujeita ao descortiçamento, a camada de células que fica exposta ao ar passa a ser o felogénio, tornando-se a dividir e repetindo o ciclo até sofrer um novo descortiçamento. Para que as pranchas de cortiça se soltem com mais facilidade do sobreiro, esta operação deve ser feita no pico de actividade fisiológica (Junho/Julho), quando as células de felogénio que se rompem encontram-se túrgidas e frágeis.

#### **2.1.4. Gestão florestal**

A conservação, condução e exploração dos povoamentos de sobreiros diferem das técnicas utilizadas nos outros povoamentos florestais, uma vez que a orientação visa a exploração de madeira, enquanto o sobreiro é orientado para a exploração de cortiça (Costa *et al.*, 2007a). Esta diferença deve-se ao facto da cortiça ser extraída sem a necessidade de corte da árvore, colocando em paralelo a extração da cortiça com o ciclo de vida longo do sobreiro.

A silvicultura de montados de sobreiro, orientados para a produção de cortiça, resume-se a cinco operações (figura 4): repovoamento, podas, mobilizações de solo (para limpeza de matos), desbastes e descortiçamentos (Costa *et al.*, 2007a) .

O repovoamento, técnica de conservação do montado, é feito com a instalação de novos sobreiro, através de sementeiras e plantações. Contrariamente ao repovoamento, o desbaste é feito com a remoção de árvores jovens, a primeira vez 15 anos após a instalação do montado e continuamente de 10 em 10 anos, consoante a necessidade, com o objectivo de adequar a densidade do povoamento e melhorar a qualidade média da cortiça, embora esta técnica tenha de ser feita obrigatoriamente com autorização dos Serviços Florestais, tendo em conta que o sobreiro é uma espécie protegida (Costa *et al.*, 2007a).



**Figura 4. Cronologia das actividades de condução e exploração dos povoamentos de sobreiro**  
Adaptado de Costa *et al.* (2007a)

As podas, apesar de na actualidade visarem objectivos distintos dos primórdios, ainda são feitas no montado de sobreiro. Assim, as podas visam maximizar a altura de descortiçamento e formar o fuste em plantas jovens. Por outra via, também são utilizadas para melhorar o estado fitossanitário das árvores, apesar de estas não fazerem parte do calendário de operações do montado. As podas no montado dividem-se em podas de formação e podas de manutenção, sendo que as primeiras são feitas entre os 5 e os 15 anos de idade do sobreiro, de forma a conduzir os ramos para a posição de maior rentabilidade de produção de cortiça. As podas de manutenção são feitas a partir dos 30 anos de idade da árvore com o objectivo de eliminar ramos que representam desperdícios de nutrientes e energia, e obrigar à abertura da copa.

Para a condução inicial dos povoamentos, faz-se uma limpeza dos matos de forma a criar um desafio para as jovens plantas. Contudo esta operação é utilizada mais tarde como

prevenção de incêndios e inclusive antecedendo o descortiçamento, facilitando o acesso aos operadores no campo (Costa *et al.*, 2007a).

### 2.1.5. Descortiçamento

O descortiçamento, ou extração de cortiça, define-se como a separação do tecido suberoso do entrecasco e faz-se pelo rasgamento das membranas das células de cortiça recém-formadas (células do felogénio) (figura 5).

A época mais favorável para o descortiçamento é entre Maio e Agosto, isto é, durante a época de maior crescimento vegetativo anual (Costa *et al.*, 2007a). Para que esta operação tenha sucesso, é necessário que as células jovens se encontrem em actividade (Natividade, 1950; Fortes *et al.*, 2004) para que as células jovens sejam facilmente rasgadas, permitindo que não se danifique os tecidos subjacentes do entrecasco (Costa *et al.*, 2007a). E é a partir destas células presentes felogénio que a árvore recomeça a sua produção de cortiça, possibilitando a exploração do sobreiro de forma sustentável (Fortes *et al.* 2004; Alves *et al.*, 2012).

Apesar deste período ser o mais indicado para o descortiçamento, durante os dias de elevada evapotranspiração e de reduzidos valores de humidade atmosférica, esta operação torna-se mais complicada, e desta forma ter-se-á que conjugar a época e o período do dia mais favoráveis à realização da operação.

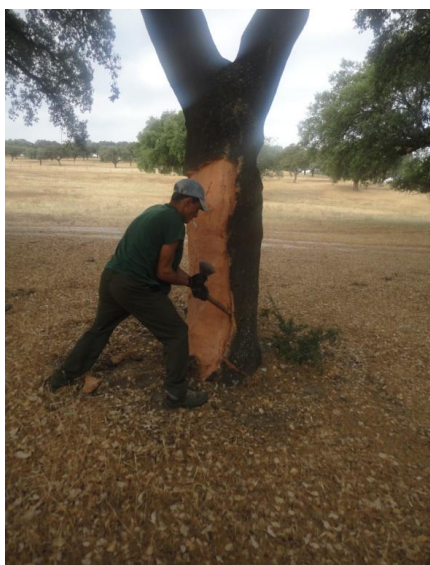


Figura 5. Descortiçamento de sobreiro

No descortiçamento é fundamental ter em conta a vitalidade do sobreiro, visando sempre a produção seguinte. Isto é, para que não se comprometa a qualidade e quantidade de cortiça, é necessário interpor aquilo a que se chama de "superfície de produção normal", pesando assim o óptimo biológico e o óptimo económico (Natividade, 1950).

Para Costa *et al.* (2007b) a primeira tiragem ocorre entre os 20 e os 25 anos de idade da árvore, já para Natividade (1950) esta operação poderá acontecer mais tarde, entre os 25 e os 30 anos de idade e Fortes *et al.* (2004) alarga a primeira tiragem até aos 35 anos. A primeira cortiça retirada do sobreiro, é classificada como cortiça virgem. Esta cortiça apresenta uma superfície exterior muito irregular e fendilhada devido às tensões geradas pelo rápido engrossamento do tronco (Costa *et al.*, 2007b; Alves *et al.*, 2012).

No descortiçamento seguinte, o segundo, a cortiça já é classificada como segundeira ou secundeira, apresentando uma superfície mais lisa, embora ainda com algumas fendas. Já na terceira tiragem, e consecutivas, se extrai o que se classifica como cortiça amadia, utilizada na indústria corticeira (Alves *et al.*, 2012).

#### **2.1.6. Factores determinantes na produção de cortiça**

A produção de cortiça está dependente de diversos factores de produção inerentes ao sobreiro, que podem apresentar diferentes modos de a influenciar. A produtividade e a qualidade da cortiça são os principais pontos de interesse onde se podem reflectir as variações geradas pelos diferentes factores de produção. Desta forma, e como o principal interesse para os produtores para a gestão das parcelas e rentabilidade do produto, será a identificação dos factores determinantes na produção de cortiça tornando-se essencial que se compreenda a variabilidade encontrada no montado de sobreiro.

Como cultura produzida ao ar livre, a cortiça é dependente dos factores edafo-climáticos, sendo também influenciada pela idade das árvores e densidade populacional e ainda pelo coeficiente de descortiçamento, sendo este último uma particularidade desta cultura (Pereira, 2007; Natividade, 1950; Fortes *et al.*, 2004; Montero e Cañellas, 1999; Tomé, 2004; Correia *et al.*, 1990). Como Tomé (2004) refere, o principal factor de produção para o sobreiro poderá mesmo ser a genética, e uma vez que o polimorfismo é evidente num montado de sobreiro, este factor poderá ser um dos grandes responsáveis pela variabilidade espacial.

##### **2.1.6.1. Solo**

O sobreiro é uma espécie arbórea muito resistente, e pouco exigente quanto às condições edafo-climáticas, tendo a capacidade de tirar partido de solos muito esqueléticos e de climas desfavoráveis à maior parte das espécies arbóreas presentes em Portugal (Natividade, 1950).

Se na actualidade os montados se encontram em terrenos áridos, não se deve a uma estrita preferência do sobreiro por estas condições, mas deve-se sim à expulsão de terrenos de maior aptidão, a que o Homem obrigou, para que pudesse promover a prática agrícola.

O sobreiro é muito tolerante a qualquer solo com excepção à presença de calcário, preferindo assim solos pouco ácidos a neutros, num intervalo óptimo de pH é entre 4,8 e 7 (Fortes *et al.*, 2004), conseguindo desenvolver-se com baixa concentração de azoto e matéria orgânica (Pereira, 2007). Segundo Montero *et al.* (1999), esta espécie arbórea necessita de solos ricos em silício, e não tolera solos argilosos, nem muito limosos. É também muito sensível a encharcamentos e compactação, dando preferência desta forma a solos arenosos profundos, com boa drenagem e bem arejados (Pereira, 2007).

#### **2.1.6.2. Clima**

O sobreiro, apesar de ser uma espécie pouco exigente quanto ao clima, demonstra uma clara preferência por Verões quentes e secos e Invernos suaves. Desta forma, encontra-se bem adaptado ao clima Mediterrânico e, em especial, com influência atlântica (Pereira, 2007).

Segundo diversos autores (Pereira, 2007; Natividade, 1950; Fortes *et al.*, 2004; Alves *et al.*, 2012) o intervalo óptimo de precipitação anual encontra-se entre os 600 e os 800mm, embora consiga desenvolver-se com 400mm. E como sugerem Montero e Cañellas (1999), no Verão, o ideal seria que ocorressem entre 150 a 200mm de precipitação, para que se consigam atingir bons níveis de produção de cortiça. Tendo em conta que o sobreiro tolera mal o encharcamento, os valores de precipitação anual acima de 1700mm são considerados uma limitação para a sua sobrevivência, já que ao estarem concentrados na estação fria podem proporcionar encharcamentos (Pereira, 2007; Fortes *et al.*, 2004).

Relativamente às temperaturas médias anuais, o intervalo óptimo para o sobreiro encontra-se entre 13º e 16ºC, contudo consegue suportar temperaturas médias anuais mais elevadas, aproximadamente 19ºC (Pereira, 2007). No mês mais frio do ano, o sobreiro não tolera temperaturas médias abaixo de 4ºC (Montero *et al.*, 1999).

Para produzir cortiça, o sobreiro necessita de condições específicas, sendo que abaixo de -5ºC e acima de 40ºC não se regista qualquer produção (Pereira, 2007; Natividade, 1950). Fortes *et al.* (2004) refere que este intervalo pode ser considerado o limite de sobrevivência.

Segundo Pereira (2007), o crescimento radial do sobreiro transparece sazonalidade, com um período de crescimento activo marcado e outro de dormência. O período de crescimento activo de cortiça tem, normalmente, início em Março e estende-se até Outubro, apesar de se verificar que em Agosto este crescimento diminui. Desta forma o crescimento de cortiça

pode ser dividido, temporalmente, em três fases: uma primeira fase de acréscimos crescentes, de Março a Abril; a segunda fase em que o crescimento é máximo, de Maio a Agosto; e a terceira fase de acréscimos decrescentes, de Setembro a Outubro (Costa *et al.*, 2002; Oliveira *et al.*, 2002). Um estudo de Tomé (2004) suporta de alguma forma, a ideia anterior de que com proximidade à estação mais seca e quente o crescimento de cortiça é superior, demonstrando que existe uma correlação positiva entre o crescimento de cortiça e a temperatura, e uma correlação negativa entre o crescimento de cortiça e a precipitação.

O crescimento de cortiça encontra-se relacionado com a conjugação da prévia precipitação e temperaturas altas da estação quente deste clima, por ser neste época que se verificam maiores crescimentos de cortiça (Costa *et al.*, 2002). Desta forma, a produção de cortiça tem diferentes promotores consoante a estação do ano, no princípio da Primavera e Outono são as chuvas que promovem o seu crescimento. No Verão são as altas temperaturas combinadas com a precipitação que possibilitam o largo crescimento. Este facto é explicado pela capacidade do sobreiro dar prioridade ao crescimento radicular em profundidade no período em que há maior concentração de precipitação para que aquando do crescimento de cortiça consiga obter água de forma mais eficaz (Costa *et al.*, 2002).

Num estudo levado a cabo por Costa *et al.* (2003), foi demonstrado que a variação inter-anual do diâmetro do tronco é, em parte, influenciado pelos factores climáticos, como períodos de menor precipitação de Inverno. No mesmo estudo foi demonstrado ainda que em média o diâmetro do tronco aumenta 0,95cm por ano, verificando um máximo no ano que segue o descortiçamento e o mínimo no ano que antecede o descortiçamento, com decréscimos (pouco irregulares) ao longo do ciclo de produção.

#### **2.1.6.3. Coeficiente de Descortiçamento**

A intensidade de descortiçamento está confinada por legislação e regras adquiridas para a manutenção dos sobreiros. Por ainda não terem sido feitos estudos suficientes e adequados, os limites de extração foram estabelecidos com base no conhecimento empírico da quantidade de superfície de periderme que o tronco e ramos da árvore conseguiriam suportar sem pôr em causa a sua vitalidade (Pereira, 2007). Apesar disto, Correia *et al.* (1990) chega à conclusão num estudo que quanto maior for a intensidade de descortiçamento, maiores serão as perdas de água, pelo tronco descortiado, evidenciando o stress que este parâmetro pode provocar no sobreiro.

Com base no conhecimento empírico foi criado um coeficiente que descreve a intensidade de descortiçamento na árvore (equação 1), que se define pelo rácio entre a altura de descortiçamento e o perímetro à altura do peito (1,3m) (Pereira, 2007).



$$\text{Coeficiente de descortiçamento} = \frac{\text{altura de descortiçamento}}{\text{perímetro à altura do peito}} \quad [1]$$

Em Portugal, os limites de descortiçamento estão estipulados na lei, pelo que um sobreiro só pode ser descortiado quando atinge 70cm de perímetro à altura do peito (Pereira, 2007; Alves *et al.*, 2012). Assim que o sobreiro é descortiado pela primeira vez, esta operação apresenta mais limites para o procedimento. No primeiro descortiçamento o coeficiente de descortiçamento a respeitar é igual a 2, isto é, só se pode descortiar, em altura, até duas vezes o perímetro à altura do peito (medido ainda com cortiça). No segundo descortiçamento da mesma árvore, o coeficiente utilizado é de 2,5 e para os descortiçamentos seguintes, de cortiça amadia, será sempre de 3 (Pereira, 2007 e Fortes *et al.*, 2004; ; Alves *et al.*, 2012).

Para efeito de cálculo da altura de descortiçamento, quando este ultrapassa a altura do fuste e são incluídos os ramos no descortiçamento, a diferença entre a altura total (tronco e ramos) e a altura do fuste, dividida pelo número de pernadas, indica a altura máxima de descortiçamento nas pernadas (Decreto-Lei nº11/97, 14 de Janeiro de 1997). É ainda obrigatório que se cumpram os limites evidenciados no Decreto-Lei nº11/97 (14 de Janeiro de 1997), que indicam que a extracção de cortiça, segundeira ou amadia, nas pernadas só poderá ser efectuada quando o perímetro no limite superior de descortiçamento seja superior a 70cm (Alves *et al.*, 2012).

#### **2.1.6.4. Densidade populacional**

A densidade de plantação é um importante factor de produtividade, uma vez que, segundo Montero *et al.* (1999) demonstra forte influência no que toca à espessura do tronco. Isto é, se o sobreiro se desenvolve e cresce num local isolado, o tronco apresentar-se-á mais curto e espesso, com os primeiros ramos a desenvolverem-se a baixa altura e a inserirem-se em ângulos muito abertos.

O sobreiro inserido num montado de maior densidade, irá forçar um crescimento em altura, apresentando como consequência uma espessura do tronco mais delgada. A competitividade entre os sobreiros por luz solar irá provocar um alongamento das árvores, a inserção dos ramos terá ângulos mais apertados e a copa apresentará menor densidade o que leva a que a radiação seja interceptada (Montero *et al.*, 1999).

Para se atingir a produtividade potencial de cortiça no montado de sobreiro tem de se ter em conta o factor densidade. Por se tratar de um sistema agro-silvo-pastoril, a cortiça não é o

único produto, e desta forma a densidade de plantação de sobreiros tem de ter em conta as outras actividades que se promovem neste sistema. Consoante o tipo de sistema utilizado no montado, entre um sistema mais próximo de sobreiral ou de montado de sobreiro tradicional com exploração agro-silvo-pastoril, o coberto de árvores varia entre valores de 60 a 30% de área coberta (Alves *et al.*, 2012).

Para se conseguir produzir boas pastagens no montado o compasso entre árvores não pode ser muito apertado, de forma a evitar o ensombramento. Mas por outro lado, os compassos muito abertos também reduzem a produtividade por falta de aproveitamento da área para a produção de cortiça. Assim, a densidade de sobreiros terá de ser ajustada para que as árvores não compitam entre si e para que não existam espaços por explorar. Segundo Montero (1999), densidade inferior a 40-60 árvores por hectare reduzem demasiado a produtividade de cortiça, deixando muito espaço por explorar.

Como demonstraram Tinoco *et al.* (2008) e Tinoco *et al.* (2009), é nos montados ordenados, isto é, montados com uma orientação inicial virada para a produção de cortiça, com plantação regularizada, que se verificam as melhores tiragens de cortiça, tanto em quantidade como em qualidade. Isto demonstra que relativamente à densidade do montado, o mais relevante será manter um compasso regular de forma a uniformizar a produção.

## **2.1.7. Qualidade da Cortiça**

### **2.1.7.1. Classes de espessura - Calibre**

A espessura da cortiça é dos primeiros factores a ter em conta, a par com a qualidade, quando se trata de separar a cortiça com propriedades mínimas e sem qualquer valor económico para ser processada na indústria da cortiça, tornando esta classificação a variável mais importante na avaliação comercial de cortiça. (Pereira, 2007; Fortes *et al.*, 2004). A espessura é então a distância medida entre as costas e a barriga da prancha (Tinoco, 2008)

O intervalos de espessura de cortiça mais adequados para a indústria são de 27-32mm e de 32-40mm, por preencher as medidas necessárias para a produção de rolhas, conseguindo assim retirar-se o máximo proveito de uma prancha, isto é, não deixar espaços sem proveito, entre rolhas (por espessura insuficiente) (Pereira, 2007). Estas pranchas com espessura compreendida no intervalo entre 27 e 40mm (quadro 2), são consideradas de 1ª classe de qualidade, por possuírem espessura utilizável para a produção de rolhas vedantes (Almeida e Tomé, 2008).

Quadro 2. Classificação comercial de calibre para a prancha de cortiça

Designação	Espessura (nº linhas)	Espessura (mm)
Delgadinha	6 a 8	9 a 22
Delgada	8 a 10	22 a 27
Meia-marca	11 a 13	27 a 32
Marca	13 a 18	32 a 40
Grossa	18 a 24	40 a 54
Triângulo	> 24	>54

Adaptado de Pereira (2007)

O limites estabelecidos na tiragem de cortiça não resultam de nenhuma limitação fisiológica, mas sim de um compromisso de bom-senso na gestão do montado. Os comprimentos mais comuns de rolhas são 38mm e 45mm, e o diâmetro mais frequente é de 24mm. Desta forma, para a indústria corticeira, principalmente para produção de rolhas, as pranchas de cortiça têm de apresentar uma espessura mínima de 27mm (quadro 2), e o mínimo de defeitos e fraturas (Pereira, 2007; Tinoco *et al.*, 2008). Em Portugal, foi introduzida uma frequência de descortiçamento limite, definida como o intervalo (em anos) entre dois descortiçamentos consecutivos, sendo este limite no mínimo de 9 anos que se revelam suficientes para gerar cerca de 3-3,5cm de espessura de cortiça suficientes para a indústria corticeira (Pereira, 2007). O calibre da cortiça passa a depender de dois factores, o crescimento anual de cortiça e dos anos de crescimento, isto é, do intervalo entre descortiçamentos (Natividade, 1950).

#### 2.1.7.2. Classificação por qualidade

A classificação da qualidade é feita com base em dois critérios chave: (1) relativo à porosidade originada pelos canais lenticulares (espaços intercelulares); (2) relativo à presença de defeitos e à importância dos mesmo para a indústria (Pereira, 2007). Tinoco *et al.* (2008) refere que o conceito de qualidade na cortiça está ligado à homogeneidade da mesma, isto é, no que diz respeito à descontinuidade (figura 6).

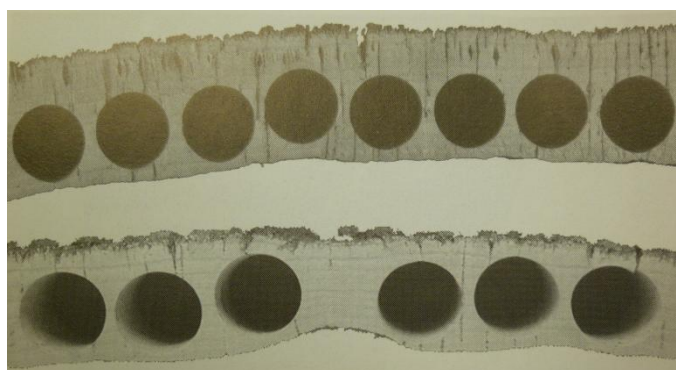


Figura 6. Comparação entre pranchas de cortiça com diferentes espessuras e qualidade

Adaptado de Pereira (2007)

Tendo em conta aqueles critérios, a cortiça, quando avaliada é classificada numa escala de 7 classes de qualidade, sendo estas: 1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 5ª, 6ª e refugo (Tinoco *et al.*, 2008). Na actualidade, a distinção entre 7 classes não é utilizada, fazendo-se uso de uma escala nova com o primeiro intervalo da 1ª à 3ª classe, classificado como cortiça de boa qualidade, um segundo intervalo da 4ª à 5ª classe, para cortiça de qualidade média e por fim a cortiça da 6ª classe, de baixa qualidade (Pereira, 2007; Fortes *et al.*, 2004). A cortiça que apresente um coeficiente de porosidade (área dos poros/área total\*100) inferior a 6% é classificada como cortiça de boa qualidade e a cortiça de média porosidade apresenta um coeficiente de porosidade abaixo dos 10% (Pereira, 2007).

Para quantificação da qualidade de cortiça existem algoritmos criados para reduzir a subjectividade do processo de classificação da cortiça. Estes algoritmos são utilizados em aparelhos como o Coveless CQ05, que será tratado mais à frente, para a gestão do montado de sobreiro e cortiça. Dentro destes algoritmos, Vieira (2009) demonstrou que através de uma expressão matemática com 3 parâmetros de porosidade, a quantificação da classificação da cortiça no sistema de classificação comum.

## 2.2. Agricultura de Precisão

### 2.2.1. Conceito

Quando falamos em Agricultura de Precisão, estamos a tratar de um sistema de cultura que visa conhecer, interpretar e gerir a variabilidade espacial e temporal numa parcela de campo, visando o melhoramento económico da actividade agrícola (Braga *et al.*, 2011). Para Zhang *et al.* (2002), os factores impulsionadores da adesão a este sistema de cultura passam pelas leis ambientais, cada vez mais rigorosas, pela preocupação pública do uso excessivo de produtos de síntese e ainda pelos ganhos económicos para o agricultor através da redução de aplicação de factores de produção (*inputs*).

A Agricultura de Precisão reúne um alargado leque de tecnologias, que em interação proporcionam informação e ferramentas essenciais para este conceito, entre estas tecnologias, temos o GPS, o SIG, VRT, monitores de produtividade, medição da condutividade eléctrica do solo e a detecção remota. Como Robert (2002) refere, a agricultura de precisão no futuro tem grande potencial de se tornar uma forte componente nos sistemas agrícolas, por oferecer diversos benefícios como aumentos de rentabilidade, de produtividade, sustentabilidade, qualidade das culturas e alimentos, protecção do ambiente, qualidade de vida para os agricultores e desenvolvimento rural.

As aplicações de agricultura de precisão podem ser consideradas quanto ao horizonte temporal como "curto prazo", "médio-longo prazo" e em "ciclo" (Braga *et al.*, 2011). As aplicações a "curto prazo" resultam da correcção de factores limitantes de produção numa única campanha. As aplicações em ciclo, sendo as mais comuns, sucedem-se num ciclo interminável de medição/estimação, aplicação e aferição (figura 7), devido à repetição e dinâmica dos factores limitantes de campanha para campanha (Braga *et al.*, 2011).



Figura 7. Ciclo de Agricultura de Precisão  
Adaptado de Furlaneto *et al.* (2010)

## **2.2.2. Tecnologias**

### **2.2.2.1. Sistema de Posicionamento Global**

O GPS (Global Positioning System) é um sistema suportado por satélites que indica a um receptor móvel a sua posição, a sua velocidade e o horário de um ponto qualquer sobre a superfície terrestre ou próximo, num referencial tridimensional (Bernardi e Landim, 2002).

Este sistema funciona, de uma forma simplificada, com a transmissão de sinais rádio, entre o transmissor e o receptor. O transmissor é composto por um conjunto de 24 satélites que se encontram a uma altitude de 20200km, completando cada um a sua órbita em 12h. Este conjunto de satélites, e a disposição de cada órbita garantem que em qualquer momento existam pelo menos 4 satélites visíveis em qualquer ponto do planeta. O receptor de GPS é o dispositivo que recebe a informação dos satélites da sua própria referência geográfica, disponibilizando, de imediato, esta informação ao operador. Segundo Han *et al.* (1994), para aumentar a precisão de todo o sistema, pode-se usar uma técnica de correcção das posições, denominada correcção diferencial. Assim, para o funcionamento deste sistema, denominado GPS diferencial (“Differential Global Positioning System - DGPS”), deve existir um segundo receptor, denominado estação-base, instalado num ponto fixo e de coordenadas conhecidas.

O sistema GPS surge como seguimento de um projecto levado a cabo pelos EUA como suporte, único e exclusivo, para os militares. Em 1973 inicia-se o desenvolvimento deste sistema por parte do Departamento de Defesa dos EUA, ficando operacional apenas em 1991, mas só dois anos depois se completou a constelação de satélites. Ao contrário do primeiro projecto (NAVSTAR), o sistema GPS foi logo à partida liberado para o uso civil.

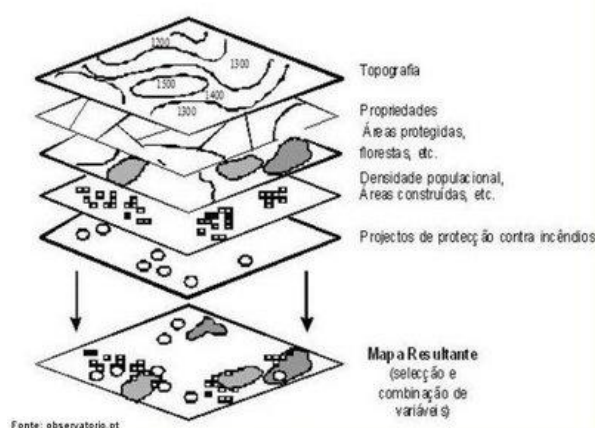
Tendo em conta a funcionalidade do sistema, Coelho e Silva (2009) afirmam que este está na base de quase todos os sistemas de Agricultura de Precisão, por ser necessário conhecer a localização geográfica precisa de ponto de amostragens de um qualquer factor agrícola em estudo, de forma a possibilitar a determinação da sua variabilidade espacial.

### **2.2.2.2. Sistemas de Informação Geográfica**

Um Sistema de Informação Geográfica pode ser descrito como um sistema de computador que captura, armazena, analisa, manipula e gere dados geográficos integrados e dispostos em diferentes representações (Burrough, 1986 *cit in* van Deursen W.P.A., 1995; Sonka *et al.*, 1997), isto é, uma colecção de software, hardware e dados, normalmente manipulados por um utilizador, através de uma interface simples (Gomez *et al.*, 2010). Para van Deursen (1995) o aspecto mais relevante do SIG é a capacidade de manipulação e análise da

informação geográfica, com a finalidade de criar nova informação a partir da combinação da informação prévia (figura 8).

Em 1998, Burrough divide os sistemas de informação geográfica em quatro sub-sistemas: a introdução de dados; o armazenamento; a manipulação e análise e por último um relatório (conclusões). Nos dados contidos na informação de um SIG podem-se diferenciar dois componentes distintos: o componente geométrico, que designam os elementos geográficos e a sua localização; e um componente de atributos ou alfanumérico, que designa as características descritivas desses mesmos elementos (Tristany, 2010).



**Figura 8. Representação das camadas de informação num SIG**  
Adaptado de SEP

Para a agricultura, estes sistemas podem ter diversas utilizações, como referem Coelho e Silva (2009), a localização de um novo negócio, a determinação do melhor solo para uma dada cultura ou a descoberta da melhor rota para um dado destino. Desta forma, quando se trata de agricultura de precisão, a utilização destas ferramentas permitem-nos criar mapas temáticos, integrar informação da mais diversa natureza, visualizar múltiplos cenários, resolver problemas complexos, apresentar ideias e propor soluções (Coelho e Silva, 2009).

### **2.2.2.3. Condutividade eléctrica do solo**

Dada a variabilidade espacial de solos, presentes no nosso país, que se verifica mesmo em pequenas parcelas, as análises de solo tornam-se fundamentais (Coelho *et al.*, 2009), principalmente quando se refere à agricultura de precisão. Apesar da variedade de parâmetros do solo que se podem analisar, Filho *et al.* (1996) considera a determinação da necessidade de correctivos de pH do solo e fertilizantes, como os componentes básicos de análise.

A condutividade eléctrica do solo, capacidade do solo conduzir corrente eléctrica, exprime-se em miliSiemens por metro (mS/m). A partir de sensores transportados à superfície do solo, é possível medir a condutividade eléctrica aparente do solo ( $CE_a$ ). A  $CE_a$  é uma forma

de avaliar a variabilidade espacial das características do solo e é medida através de indução de corrente electromagnética (McCormick *et al.*, 2009; Serrano *et al.*, 2010). Sendo que os valores de condutividade eléctrica variam devido à combinação de sais, mineralogia das argilas, teor de humidade e temperatura do solo (Brevik *et al.*, 2006), oferecendo o panorama da variabilidade espacial das características do solo, tornando-a uma ferramenta importante para agricultura de precisão.

#### **2.2.2.4. Monitores de Produtividade**

Um monitor de produtividade é um equipamento que mede, em tempo real, a produtividade de uma cultura, permitindo verificar a variabilidade espacial e temporal de produtividade e o seu potencial produtivo, e se conjugado com um dispositivo GPS, permite cartografar os dados recolhidos.

As cartas de produtividade têm um importante papel em agricultura de precisão. A sua utilização faz-se essencialmente em culturas arvenses, em que a ceifeira tem acoplado um monitor que permite a visualização, em tempo real da produtividade, e em cultura de condução em linha (Pelletiera e Upadhyayab, 1999; Thomas *et al.*, 1999; Wilkerson *et al.*, 2002; Bramley e Hamilton, 2004). Coelho e Silva (2009), referem o uso de monitores de produtividade em hortícolas, culturas industriais e forrageiras, focando as arvenses como as principais culturas em que se utilizam estes monitores.

Através da utilização de monitores de produtividade, retira-se não só a informação da produtividade real da parcela, como também possibilita a criação de mapas que identifiquem as variáveis que possam estar a gerar variabilidade espacial da produtividade (Coelho e Silva, 2009). A introdução da informação gerada pelos monitores de produtividade em SIG, servirá de auxílio à utilização de VRT para próximas operações culturais, sempre com o objectivo de reduzir ao máximo a variabilidade espacial.

#### **2.2.2.5. Tecnologia de Taxa Variável**

A tecnologia de aplicação a taxas variáveis, é como o nome indica, uma forma de aplicação de factores de produção de uma cultura de forma variável. Consoante o que a variabilidade espacial sugerir, assim serão aplicados os factores de produção, a uma taxa variável (Sawyer, 1994), de forma a maximizar a margem bruta.

Esta tecnologia funciona com a combinação de um sistema de controlo de taxas variáveis com um sistema de aplicação, de factores de produção, no local e momento exacto para o qual foi calculado (Fulton *et al.*, 2009). As aplicações feitas através de VRT podem ser feitas de duas formas: "em tempo real" e "baseada em cartas" (mais frequentes), diferenciando-se



pelo intervalo de tempo entre a medição (recolha de dados) e a aplicação . Nas aplicações efectuadas com base em cartas é necessário o recurso a GPS e cartas de recomendação, isto é, recolher previamente os dados, produzir uma carta (por SIG) que será utilizada como informação para que o VRT faça a distribuição correcta. Nas aplicações em "tempo real", com o auxílio de sensores instalados na máquina agrícola, a medição e aplicação são feitas em simultâneo (Braga *et al.*, 2011).

As operações realizadas com esta tecnologia são:

- aplicação de fertilizantes;
- fitofármacos e estrume;
- sementeira;
- rega e
- lavoura (Fulton *et al.*, 2009).

#### **2.2.2.6. Detecção Remota**

A detecção remota pode ser definida como uma forma de aquisição de informação, acerca do estado e condição de um dado objecto, ou área, através da utilização de sensores que não se encontrem em contacto físico com o objecto ou área em estudo (Chuvieco e Huete, 2010; Cracknell e Hayes, 2007; Lillesand e Kiefer, 1994). Esta informação recolhida pode apresentar-se sob diversas formas, como variações de distribuição de forças, distribuição de ondas acústicas ou distribuições de energia electromagnética (Lillesand *et al.*, 1994), sendo a última, a mesma forma de recolha de informação utilizada pelo olho humano. Sendo a detecção remota a tecnologia de maior destaque neste estudo, será mais aprofundada no capítulo seguinte.

## 2.3. Tecnologia de Detecção Remota

### 2.3.1. Conceito

Focando-nos mais na distribuição de energia electromagnética, Braga (2009) define detecção remota como um registo de energia emitida ou reflectida pela superfície terrestre em diversos comprimentos de onda do espectro electromagnético. E no mesmo seguimento, Coelho *et al.* (2009) restringe a recolha de informação aos sensores de radiação eletromagnética colocados acima da superfície terrestre (satélite ou avião) (figura 9).

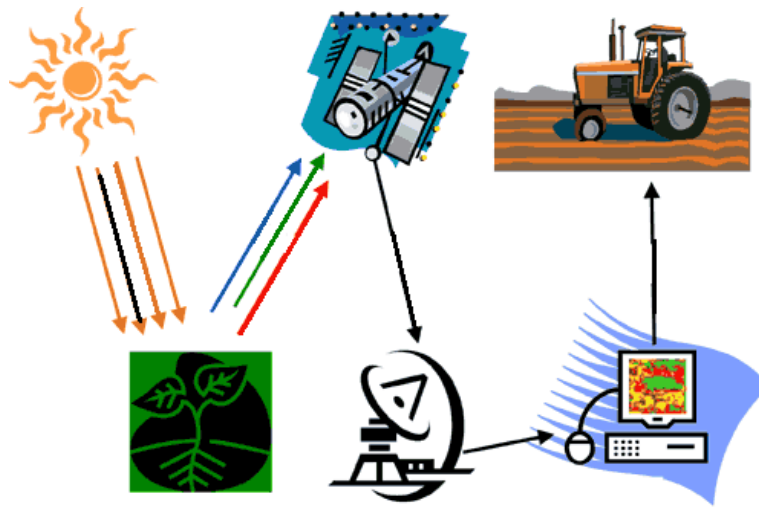


Figura 9. Esquematização de um exemplo de detecção remota  
Adaptado de Anónimo

Como referem diversos autores (Sabins, 1986; Fonseca e Fernandes, 2004), a energia electromagnética está representada num largo espectro, e define-se como uma forma de energia que propaga à velocidade da luz e que varia no comprimento de onda e frequência. O espectro electromagnético (figura 10) utilizado para obter informação das culturas, em agricultura de precisão está restringido a um pequeno intervalo de comprimentos de onda, entre  $0,4\mu\text{m}$  -  $14\mu\text{m}$  e entre  $1\text{mm}$  -  $1\text{m}$  (Tristany, 2010). E dentro do intervalo de comprimento de onda utilizado para recolher esta informação, as bandas mais utilizadas são: RGB ( $0,4$  -  $0,7\mu\text{m}$ ), o infravermelho próximo ( $0,73$  -  $1,4\mu\text{m}$ ) e o red edge ( $0,69$  -  $0,73\mu\text{m}$ ) (Tristany, 2010; Weichelt, 2012).

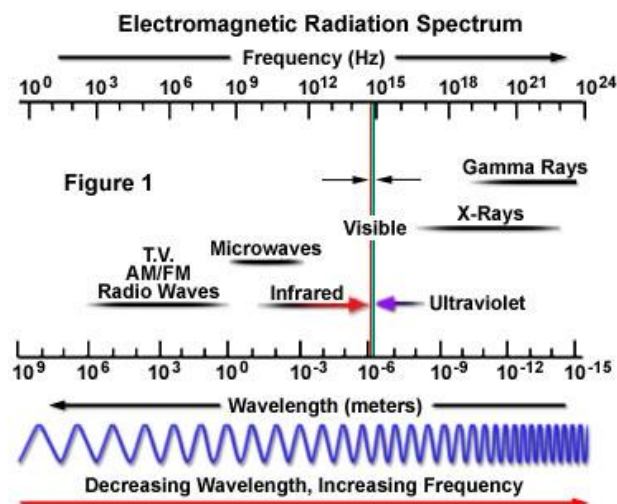


Figura 10. Espectro electromagnético  
Adaptado de Molecular Expressions

Tendo em conta as bandas utilizadas para recolha de informação electromagnética, pode-se adiantar que a reflectância da canópia das plantas na banda do visível está relacionada de forma directa com a intensidade de absorção de radiação por parte dos pigmentos fotossintéticos das folhas. Por outro lado, a reflectância do infravermelho próximo (0,73 - 1,4 $\mu$ m) é influenciada, de forma geral, pelas diferentes unidades propriedades estruturais das folhas. Já a reflectância do infravermelho de ondas curtas (1,4 - 3 $\mu$ m) está directamente relacionada com a variação de absorção de água e outros compostos (Barton, 2012).

Como refere Tristany (2010), o conjunto das técnicas designadas globalmente por "detecção remota" têm vindo a ocupar uma posição cada vez mais importante no panorama da aquisição de informação para uso agrícola. É através de relações entre reflectância multiespectral, temperatura das canópias, fotossíntese e evapotranspiração que Seelan *et al.* (2003) refere que a detecção remota se baseia para avaliação do estado das culturas. Desta forma, os dados obtidos através desta tecnologia fornecem um método eficiente de descrição da variabilidade espacial, podendo ser adicionados a modelos agrícolas de forma a fornecerem um apoio fiável à tomada de decisão quando aplicados a sistemas de agricultura de precisão (Jones e Barnes, 2000).

A radiação que melhor informa sobre o vigor das plantas é a do infravermelho próximo, pois a reflectância das plantas nesta banda está directamente relacionada com a estrutura das células foliares e com a água nelas presente (Dias, 2009). A cada objecto está associada uma assinatura espectral (figura 11), isto é, uma padrão de reflectância, associado a diferentes comprimentos de onda da radiação incidente sobre o objecto (Ribeiro, 2007). A assinatura espectral funciona assim, do mesmo modo que um impressão digital, identificando através da reflectância o objecto referenciado.

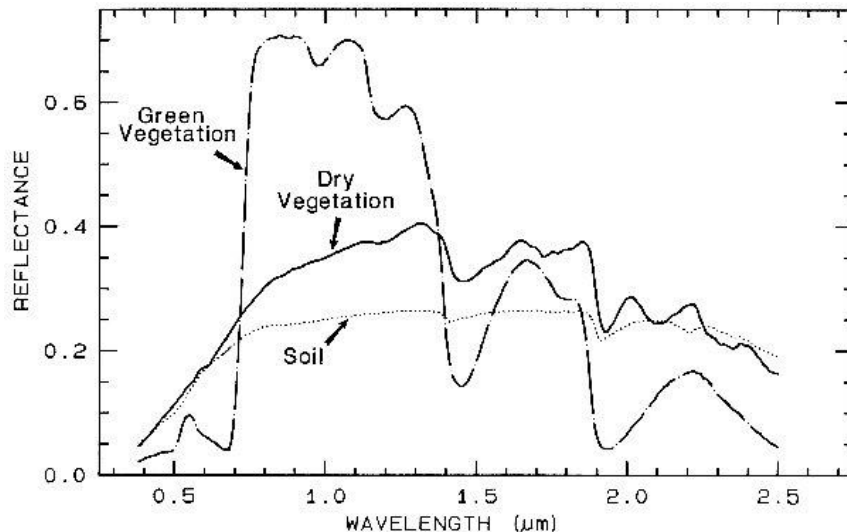


Figura 11. Assinaturas espectrais de vegetação verde, vegetação seca e solo  
Adaptado de Gunther (2005)

De uma forma genérica, Pattenau *et al.* (2005) adianta que a vegetação de cor verde apresenta uma assinatura espectral caracterizada por uma forte reflectância de verde e infravermelho, no espectro electromagnético, e por uma forte absorvância no vermelho e no infravermelho médio. A partir do conhecimento das assinaturas espectrais e das suas variações de superfície para superfície e de espécie vegetal para espécie vegetal que se podem construir os índices de vegetação que oferecem diferente informação, entre si, e podem ter diferentes aplicações.

### 2.3.2. Índices de Vegetação

A assinatura espectral tem especial importância na obtenção de índices de vegetação, aquando da leitura das imagens obtidas por detecção remota. Os índices de vegetação são algoritmos matemáticos resultantes da combinação entre diferentes bandas espectrais, e tornam-se numa forma simples de redução de dados múltiplos, das diferentes bandas registadas num pixel, a um simples valor numérico (Mateluna *et al.*, 2009; Hall *et al.* s/ data).

Entre os índices de vegetação possíveis de se obter através das imagens de DR, destaca-se o NDVI (Normalized Difference Vegetative Index), lido através da reflectância, do objecto, nas bandas do infravermelho próximo (IVP) e do Vermelho (V) (figura 12).

$$\text{NDVI} = (\text{IV PRÓXIMO} - \text{VERMELHO}) / (\text{IV PRÓXIMO} + \text{VERMELHO})$$

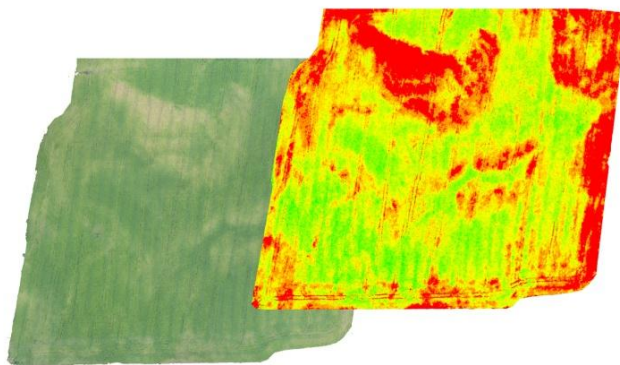


Figura 12. Exemplo de uma carta RGB e NDVI

No seguimento de Pattenau *et al.* (2005), uma planta com bom vigor, irá absorver uma grande parte da radiação na banda do vermelho (V) e reflectir mais radiação na banda do infravermelho próximo, e o mesmo se verifica de forma inversa. Desta forma, e observando a equação, o valor de NDVI (adimensional) estará compreendido num intervalo entre -1 e 1 para a generalidade dos corpos e 0 a 1 para as plantas e corpos na superfície terrestre, em que a unidade representa o estado máximo de vigor para uma planta. Os valores de NDVI próximos de 0, são indicadores de que as plantas se encontram em stress (hídrico ou outros).

A produção vegetal depende muito da aplicação adequada de azoto, o que torna o conhecimento da sua variabilidade espacial muito importante para a gestão agrícola. Uma vez que esta variabilidade não é possível medir directamente através de detecção remota, é necessário o recurso a um indicador. Desta forma, a variabilidade espacial do azoto pode ser conhecida através de medições da variabilidade espacial da clorofila devida à sua forte correlação (Weichelt, 2012). Assim a utilização de um índice que indicador da clorofila poderá ser relacionado com a quantidade de azoto na parcela.

Além do NDVI, existem outros índices de vegetação como, Plant Cell Density (eq. 2), Photosynthetic Vigour Ratio (eq. 3), Plant Pigment Ratio (eq. 4), Wetness inde (eq. 5), Normalized Difference REDEdge (eq. 6) e Plant Senescense Reflectance Index (eq. 7):

$$PCD = IVP / VERMELHO \quad [2]$$

$$PVR = VERDE / VERMELHO \quad [3]$$

$$PPR = VERDE / AZUL \quad [4]$$

$$WI = (VERMELHO + VERDE + AZUL) / (IVP + REDEdge) \quad [5]$$

$$NDRE = (IVP - REDEdge) / (IVP + REDEdge) \quad [6]$$

$$\text{PSRI} = (\text{VERMELHO} - \text{VERDE}) / \text{IVP}$$

[7]

Existem vários estudos que demonstram ser possível observar relações significativas, numa análise de regressão, entre os diferentes índices de vegetação existentes e as performances produtivas de diferentes culturas agrícolas através de imagens aéreas. Para este efeito seguem-se os exemplos de Sereno (2009), Fiorillo et al. (2012) e Martinez-Casasnovas et al. (2012) que demonstram existir relação entre o índices como o NDVI com a produção e qualidade na vinha, entre outros parâmetros e Yang *et al.* (2008) que demonstrou existir o mesmo tipo de relação na produção de repolho.

### 2.3.3. Aplicação florestal e silvicultura de precisão

A detecção remota, já é utilizada no âmbito florestal desde o lançamento do primeiro satélite comercial, Landsat (1972), e desde então que a esta tecnologia tem evoluído na sua utilização, abrangendo, hoje, diversas áreas de estudo nas florestas (Iverson *et al.*, 1989). Com diferentes objectivos, e utilizações, esta tecnologia destaca-se nas seguintes vertentes:

- estudos de incêndios florestais e cartografia de áreas ardidas;
- estudos de impacto das alterações do coberto por desflorestação e reflorestação (Wasseige *et al.*, 2004; Nandy *et al.*, 2011);
- avaliação do estado fitossanitário das florestas, tendo como exemplo um estudo em que Olsson *et al.* (2012) detectou através de DR ataques de uma nova praga na Suécia e ainda outro artigo onde é feito um resumo acerca do uso da DR nesta vertente, fazendo referência a vários estudos conclusivos, levados a cabo neste âmbito (Wang *et al.*, 2010);
- estudos de processos fisiológicos, entre eles, estudos de sequestro de carbono, como o de Turner *et al.* (2004), Smith *et al.* (2008) e ainda de Pattenau de *et al.* (2005) onde estuda, quantitativamente, o sequestro de carbono na floresta como resposta ao plano de redução de emissões de carbono previsto pelo Protocolo de Kyoto; estudos de eficiência de uso de radiação solar (Wu *et al.*, 2012; Hall *et al.*, 2008), bem como cálculos de produção, onde os autores estudam a variação sazonal de biomassa numa floresta (Gallaun *et al.*, 2010; Kimball, *et al.*, 2004);
- cartografia de distribuição de cobertos florestais, inventariação florestal e criação de mapas (Ingram *et al.*, 2005; Tomppo *et al.*, 2008).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Para prosseguir com o objectivos da dissertação foi efectuado um ensaio de campo numa parcela de montado de sobreiro.

#### 3.1. Descrição da Parcela

A parcela em estudo localiza-se na Herdade das Falcoeiras, pertencente à freguesia de Aguiar, no concelho de Viana do Alentejo. A exploração do montado é feita pela Sociedade Agrícola do Moinho da Falcoeira.



Figura 13. Imagem da parcela em estudo, delimitada pela linha laranja

A parcela com área de 110ha (figura 13), é constituída de um montado rodeado de cerca, com densidade de plantação de aproximadamente 21 árvores/ha. Este montado contém sobreiros, azinheiras e pastagem natural. É limitada, tanto a Noroeste como a Sudeste, por cursos de água, e a Nordeste e Sudoeste por caminhos.

##### 3.1.1. Forma de exploração do montado

Numa visão global da parcela em estudo, este montado é explorado de três formas distintas: cortiça (figura 14), gado e caça. Relativamente aos sobreiros, a empresa que explora o montado decidiu, com aconselhamento técnico, que não seria benéfico promover qualquer intervenção de podas, com excepção nas podas sanitárias. As podas sanitárias são feitas no 3º ano, precedente ou antecedente ao descortiçamento, no período entre Novembro e Março.



A pastagem presente na parcela é espontânea, rica em leguminosas, sendo por esta razão livre de qualquer intervenção, quer de sementeiras, quer de fertilização, quer ainda de cortes. Desta forma, as vacas passam parte do tempo nesta pastagem para aproveitar o alimento que a parcela oferece. A exploração possui um efectivo de 148 vacas, divididas em duas vacadas de número igual (74), uma composta quase na sua totalidade por vacas de raça pura Limousine e a outra de vacas F1, cruzadas de Limousine com Mertolenga. Relativamente à caça, a empresa arrenda a exploração de caça a um couto associativo.



Figura 14. Descortiçamento de sobreiros da parcela em estudo

### 3.1.2. Caracterização climática

De acordo com a classificação de Thornthwaite (1948), Évora apresenta um clima mesotérmico húmido e pela classificação de Köppen, este clima classifica-se como mesotérmico (Csa) em que a estação seca coincide com o Verão (Azevedo, 1971). Esta classificação é dada por apresentar temperatura média, do mês mais frio do ano, inferior a 18°C e superior a -3°C e por a temperatura média do mês mais quente ser superior a 22°C, como se verifica no diagrama ombrotérmico de Gaussen para período 2003-2012 (figura 15), onde estão demonstradas as temperaturas e precipitação médias mensais referentes ao período entre 2003 e 2012.



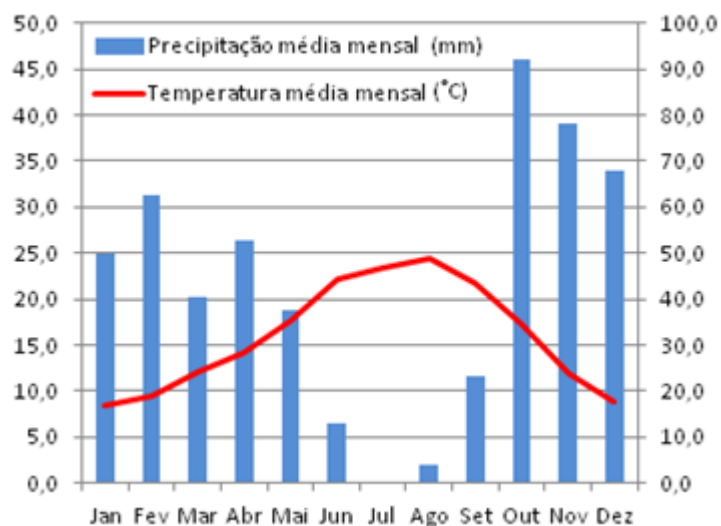


Figura 15. Diagrama ombrotérmico de Gaussen para Évora, Período de 2003 a 2012

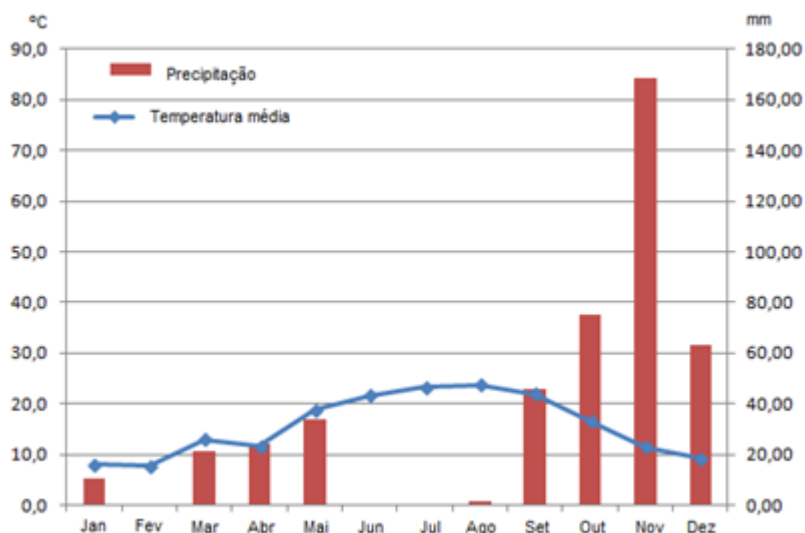


Figura 16. Diagrama ombrotérmico de Gaussen para Évora, 2012

No ano em que foi efectuado o descortiçamento (2012) registaram-se as temperaturas médias mais elevadas nos meses de Junho (21,6°C), Julho (23,2°C), Agosto (23,7°C) e Setembro (22°C) (figura 16), coincidindo com o período de menor ocorrência de precipitação, tendo se registado 0,51mm no mês de Junho, 1,27mm no mês de Agosto e precipitação inexistente no mês de Julho. De referir ainda que no mês de Fevereiro também não houve registo de precipitação. As precipitações mais elevadas foram por sua vez registadas no período de Outubro a Dezembro, com uma diferença significativa no mês de Novembro (168,7mm), em relação aos outros meses do ano.

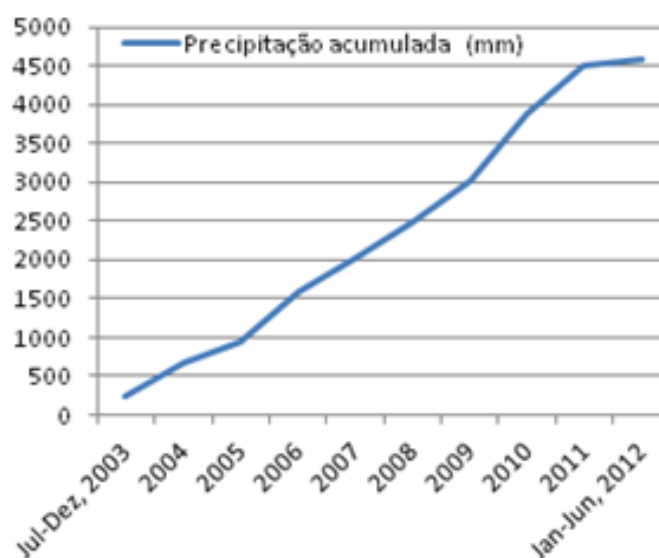


Figura 17. Precipitação acumulada de Julho de 2003 a Junho de 2012, Évora

Observando o gráfico (figura 17) referente à precipitação acumulada durante todo o ciclo produtivo (Junho de 2003 até Junho de 2012), verifica-se um registo de 4584,5mm no total dos nove anos, o que em média representa cerca de 500mm de precipitação anual, que para diversos autores se encontra abaixo do limite inferior (600mm) do intervalo óptimo de precipitação anual (Pereira, 2007; Natividade, 1950; Fortes *et al.*, 2004; Alves *et al.*, 2012).

### 3.1.3. Caracterização edáfica

Pela carta de solos, a parcela em estudo apresenta duas manchas de solo: Pg e Pgm. Segundo Cardoso (1965), o solo Pg classifica-se como um solo litólico não húmico de granitos ou rochas afins. Este solo apresenta um perfil com três horizontes, entre eles um horizonte Ap, um horizonte AC ou B e um horizonte C. Também segundo Cardoso (1965), o solo Pgm classifica-se como um solo litólico não húmico de rochas eruptivas de composição mineralógica entre granito e quartzodiorito, com três horizontes: Ap, B e C.

#### Perfil Solo Pg

Horizonte Ap (15 a 25cm) - pardo, pardo-pálido, pardo-claro ou pardo-amarelado; arenoso; sem agregados; solto; pH 4,5 a 5,5.

Transição gradual para

Horizonte AC ou B (10 a 40cm) - idêntico ao anterior mas ligeiramente mais claro.

Transição gradual para

Horizonte C - material originário de cor mais clara do que a da camada superior (em regra parda-clara), de espessura superior a 10cm, arenoso ou franco-arenoso e com alguns fragmentos de rocha em meteorização; com a profundidade tornam-se cada vez mais evidentes os componentes minerais da rocha-mãe, que é um granito ou uma rocha afim.

### **Perfil Solo Pgm**

Horizonte Ap (15 a 25cm) - pardo ou pardo-amarelado; arenoso; sem agregados; solto; pH 5,5 a 6,5.

Transição gradual para

Horizonte AC ou B (15 a 20cm) - pardo ou pardo-amarelado; franco-arenoso ou franco; estrutura anisoforme subangulosa grosseira fraca; pH 6,0 a 7,0.

Transição gradual para

Horizonte C - material originário proveniente da desagregação de rochas eruptivas de composição mineralógica entre granito e quartzodiorito, principalmente quarzomonzoritos e granodioritos, o qual é de textura mais fina do que o dos solos.

### 3.2. Delineamento experimental e metodologia geral do ensaio

Para que as amostras fossem representativas, a escolha das árvores para recolha de dados, foi feita no seguimento do trabalho efectuado pela Associação de Produtores Florestais do Vale do Sado (ANSUB). A ANSUB recolheu as amostras de qualidade de 35 árvores, escolhendo de forma aleatória 7 pontos dentro parcela dos quais seleccionou 5 árvores (aleatoriamente) mais próximas de cada ponto. As árvores foram marcadas com fita plástica (figura 18), numeradas e referenciadas com o GPS Geo Explorer XT.



Figura 18. Marcação dos sobreiros pertencentes à amostra

Para recolha de dados das variáveis dendrométricas seguiram-se os processos descritos por Godinho e Tomé (2002). As variáveis dendrométricas analisadas foram: diâmetro à altura do peito; diâmetro na base; altura total; altura da base da copa; altura do fuste; altura da bifurcação; altura de descortiçamento; raios da copa; número de pernadas; número de pernadas descortiçadas.

### 3.3. Metodologia de recolha de dados de campo

#### 3.3.1. Classificação - Dados da qualidade (Coveless CQ05)

As amostras de qualidade recolhidas pelo técnico da Ansub, foram registadas através de um aparelho electrónico - Coveless CQ05 (figura 19). Este aparelho tem a capacidade de medir a espessura da cortiça, detectar defeitos e avaliar a qualidade, sem abater a árvore, nem retirar qualquer cortiça. Esta recolha de dados para análise de qualidade foi feita para a totalidade das árvores utilizadas para amostragem.

O Coveless CQ05 detecta o defeito de verde e classifica a qualidade da cortiça em quatro níveis de qualidade utilizados em Portugal e Espanha: 1-3, 4-5, 6 e refugo. Mede também a espessura da cortiça, em milímetros e em número de anéis de crescimento (linhas).



Figura 19. Análise da cortiça na árvore com Covless CQ05

### 3.3.2. Perímetro à altura do peito e na base

A medição do perímetro à altura do peito foi feita com uma fita métrica com escala até aos 2m (figura 20). A medição foi feita com a fita a 1,3m do solo, perfeitamente paralela ao terreno se este não tiver qualquer inclinação. Nos casos em que o terreno apresentou inclinação, a medição foi feita a 1,3m do ponto mais alto do solo e a fita foi disposta de forma perpendicular ao eixo de inclinação da árvore. Desta variável resultam o raio à altura do peito (eq. 8), e o diâmetro à altura do peito (eq. 9).

$$\text{Raio à altura do peito} = \text{perímetro à altura do peito} / 2\pi \quad [8]$$

$$\text{Diâmetro à altura do peito} = \text{perímetro à altura do peito} / \pi \quad [9]$$

Para o perímetro na base foi utilizado o mesmo procedimento referido para o diâmetro à altura do peito, com a diferença de que este foi medido na base do tronco. O procedimento utilizado para medir o perímetro à altura do peito foi utilizado para a obtenção do perímetro à altura do peito descortiçado. Já o perímetro das pernas a descortiar foi medido com a fita à volta de cada perna, de forma perfeitamente perpendicular à extensão das mesmas.



Do perímetro na base resultou o diâmetro na base (eq. 10), e do perímetro à altura do peito descortçado resultou por sua vez o raio à altura o peito descortçado (eq. 11).

$$\text{Diâmetro na base} = \text{perímetro à altura do peito} / \pi \quad [10]$$

$$\text{Raio à altura do peito descortçado} = \text{perímetro à altura do peito descortçado} / 2\pi \quad [11]$$



Figura 20. Medição de perímetro à altura do peito

### 3.3.3. Alturas (total, fuste, bifurcação, base da copa e descortiçamento)

Para a medição da altura total foi utilizado um hipsómetro electrónico (vertex). A utilização deste aparelho foi feita com a colocação de um transponder a 1,3m de altura, e de seguida colocando o hipsómetro a uma distância suficiente para a visualização completa da árvore. A partir deste ponto, apontou-se o hipsómetro para o transponder, para calibração, e de seguida apontou-se para o topo da árvore fazendo a leitura da altura total da mesma.

As restantes alturas foram medidas com o auxílio de uma régua topográfica de 4m. A leitura das alturas do fuste, da bifurcação, da base da canópia e dos descortiçamentos vertical e do fuste foi feita através da colocação da régua no ponto mais alto do solo, paralelamente, encostada árvore, medindo no sítio onde começava a copa (figura 21).

A superfície descortçada (eq. 12) provém do cálculo efectuado com o perímetro à altura do peito e a altura do descortiçamento vertical, da seguinte forma:

$$\text{Superfície descortçada} = \text{altura do descortiçamento vertical} \times \text{perímetro à altura do peito} \quad [12]$$



Figura 21. Medição de altura de descortiçamento

### 3.3.4. Raios das copas

Os raios das copas foram medidos com a régua topográfica de 4m, na sua projecção horizontal (figura 22). Registaram-se os dados lidos no sentido dos pontos cardeais com os ângulos 0°, 90°, 180° e 270°, a partir do centro da árvore, à altura de 1,3m. A régua era disposta de forma paralela ao plano horizontal, e apoiada no chão quando este não apresentava qualquer inclinação, registando depois os quatro raios da copa. Destes dados resultaram as variáveis:

- raio médio (eq. 13);
- perímetro médio- representa o perímetro médio da projecção horizontal da copa (eq. 14);
- área média - representa a área média da projecção horizontal da copa (eq. 15).

$$\text{Raio médio} = \sum \text{Raios} / 4 \quad [13]$$

$$\text{Perímetro médio} = \text{raio médio} \times 2\pi \quad [14]$$

$$\text{Área média} = \pi \times (\text{raio médio})^2 \quad [15]$$





Figura 22. Medição dos raios da copa

### 3.3.5. Produtividade

Para medir a produção de cortiça, foi utilizada uma balança de mão, digital, com erro máximo de 100g. A pesagem foi feita logo após o descortiçamento. Consoante os sobreiros eram descortiçados pelos operadores, as pranchas e bocados iam sendo empilhados, formando pilhas de cortiça correspondentes a cada sobreiro (figura 23). Depois de formada a pilha de cortiça, esta era pesada em fracções, compostas por pranchas e bocados, efectuando-se por fim um somatório do total de cortiça proveniente de cada sobreiro (figura 24).



Figura 23. Pilha da cortiça total pertencente a um só sobreiro





**Figura 24. Pesagem da cortiça com balança digital de mão**

### 3.4. Modelos de produtividade para a cortiça

Um modelo estatístico é utilizado como uma representação simples da realidade, isto é, uma ferramenta de apoio à tomada de decisões, que retrata de uma forma aproximada o cenário em estudo.

Apesar de não existirem modelos capazes de traduzir de forma exacta a realidade em toda a sua extensão, existem modelos capazes de fornecer informação válida. Desta forma, para se poder distinguir um modelo de boa aproximação à nossa realidade, existem diversos parâmetros estatísticos que serão utilizados como auxílio para a selecção do mais adequado para o caso. Seguem-se os modelos propostos para o estudo da previsão da quantidade de produção de cortiça, calculada na árvore.

Os modelos seguintes serão utilizados como termo de comparação com o modelos ajustados que iremos obter através dos dados de detecção remota. Estes modelos são neste momento a melhor forma de estimar a produtividade, mas como a sua obtenção é dispendiosa, ao se verificar a viabilidade da utilização de modelos obtidos por detecção remota poderá tornar-se uma alternativa bem mais barata.

Os modelos demonstrados são favoráveis à comparação com o nosso caso em estudo por se apresentarem com idênticos moldes, isto é, por se tratarem de estudo em montados de sobreiro em que a produtividade é estimada na árvore.

#### **Modelo 1 (Lopez e Moreno):**

$$1 - PC = 9,303 \times \text{Alt. Descorticação} \times \text{PAP}$$

#### **Modelo 2 (Natividade, 1950):**

$$2.1 - PC = 72,5 \text{ PAP} + 3,2 \text{ Alt. fuste} + 0,7 \text{ Diâmetro da copa} - 54,9$$

$$2.2 - PC = 70,5 \text{ PAP} + 2,7 \text{ PAP}^2 - 43,7$$

$$2.3 - PC = 76,9 \text{ PAP} - 47,2$$

#### **Modelo 3 (Gomes *et al.*, 1990):**

$$3 - \ln(PC) = 2,586 + 1,812 \ln(\text{PAP}) + 0,625 \ln(\text{Alt. Desc})$$

#### **Modelo 4 (Ribeiro, 1990):**

$$4 - PC = 11,7 + 26,3 \ln(\text{PAP} \times \text{Alt. Desc})$$

#### **Modelos 5 (Ferreira e Oliveira, 1991):**

$$5.1 - PC = -7,7 + 13,0 \text{ PAP} * \text{Alt. Desc}$$

$$5.2 - PC = -6,2 + 13,0 \text{ PAP} * \text{Alt. Desc}$$

$$5.3 - PC = -7,7 + 10,2 \text{ PAP} * \text{Alt. Desc}$$

$$5.4 - PC = -16,9 + 15,0 \text{ PAP} * \text{Alt. Desc}$$

**Modelos 6 (Costa, 1992):**

$$6.1 - PC = -2,3 + 11,2 \text{ PAP} * \text{alt desc}$$

$$6.2 - PC = -6,9 + 13,8 \text{ PAP} * \text{alt. desc}$$

$$6.3 - PC = -15,9 + 18,0 \text{ PAP} * \text{alt desc}$$

**Modelos 7 (Ribeiro, 1992):**

$$7.1 - PC = -3,3 + 11,1 \text{ PAP} * \text{Alt. desc}$$

$$7.2 - PC = -1,2 + 12,2 \text{ PAP} * \text{Alt. desc}$$

$$7.3 - PC = 5,7 + 6,3 \text{ PAP} * \text{Alt. desc total}$$

$$7.4 - PC = -1,2 + 12,2 \text{ PAP} * \text{alt desc total}$$

**Modelo 8 (Costa, 1997):**

$$8 - PC = -0,87 - 0,87 \text{ PAP} + 19,9 \text{ PAP}^2$$

**Modelo 9 (Montero e López, 2008):**

$$9 - PC = 7,85 * \text{PAP} * \text{Alt. desc}$$

### **3.4.1. Parâmetros Estatísticos**

Depois de reunir todos os dados de campo registrados no campo, obtidos pelos métodos de referência, estes foram comparados com os valores obtidos através dos modelos previamente referidos.

O modelo que represente melhor a realidade presente no montado de sobro em estudo, será escolhido através do confronto com diversos parâmetros estatísticos, sendo assim filtrado o modelo que apresente melhores valores para o máximo de parâmetros e se possível para todos. Desta forma, os modelos serão confrontados com: (1) declive e

ordenada na origem; (2) coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ); (3) índice de concordância de Willmott ( $d$ ); (4) RMSE (root mean squared error); (5) enviesamento ( $b$ ); (6) eficiência de modelação (Nash-Sutcliffe Efficiency - EM); (7) percentagem de BIAS (PBIAS) e (8) rácio do desvio-padrão (RDP).

#### 3.4.1.1. Declive e ordenada na origem

Um modelo que traduza de forma exacta o sistema em causa produz uma nuvem de pontos formada pelos dados observados e estimados em que todos os pontos incidiriam sobre a recta com um declive igual a 1,00 e com ordenada na origem igual a 0,00 (Moriasi *et al.*, 2007). O declive indica a relação entre os valores observados e os estimados, e por sua vez a ordenada na origem indica o desfaseamento existente entre os mesmos (Santos, 2009).

Como não existe nenhum modelo que consiga retratar a realidade de forma exacta, o melhor modelo será o que tiver o declive mais próximo de 1 e ordenada na origem mais próxima de 0.

#### 3.4.1.2. Coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ )

O coeficiente de correlação de Pearson e o coeficiente de determinação indicam o grau de colinearidade, isto é, com que precisão se pode traçar uma recta capaz de descrever a relação entre os pontos descritos pelos valores observados e estimados (Moriasi *et al.*, 2007).

O coeficiente de correlação é usado como um indicador de linearidade entre os valores observados e os estimados, estando este valor contido num intervalo entre -1 e 1. Se  $r$  tiver valor nulo (igual a 0), este indica que não existe qualquer linearidade, e que todos os valores próximos deste apresentam baixa linearidade. Se  $r$  for -1 ou 1, a linearidade do sistema é perfeito, sendo esta negativa ou positiva, respectivamente (Moriasi *et al.*, 2007).

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (eq. 16) indica a variabilidade, nos valores observados, que pode ser explicada pelo modelo. Na recta de regressão  $\hat{y} = a + bx$ , o coeficiente de determinação diz-nos em que medida o conhecimento de  $x$  nos pode explicar a variação de  $y$ . Desta forma,  $R^2$  pode variar entre 0 e 1, sendo que a recta de regressão perfeita para o modelo teria um valor de  $R^2=1$  (Santos, 2009).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad [16]$$

Onde:  $R^2$  = coeficiente de determinação;  $y_i$  = valor medido pelo método de referência para a  $i$ -ésima amostra e para o atributo em estudo;  $\hat{y}_i$  = valor estimado pelo modelo para a  $i$ -ésima amostra e para o atributo em estudo;  $\bar{y}$  = média dos valores observados no método de referência.

#### 3.4.1.3. Índice de concordância de Willmott (d)

O índice de concordância (eq. 17) é uma ferramenta de estatística descritiva que reflecte o grau de precisão de variação dos valores observados, através da variação dos valores estimados (Willmott, 1981). Desta forma, o índice de concordância é referido como uma medida para verificar se a previsão, feita através do modelo, é livre de erro, e se não, qual o seu grau.

O índice fornecido por Willmott (1981), pode variar entre o valor 0,0 e 1,0. A unidade indica-nos a perfeita concordância entre a previsão do modelo e os dados observados, contrariamente ao valor 0,0 que nos indica a inexistência de concordância. Willmott (1984), refere que este índice pode ser visto como o rácio entre o erro médio quadrático e o erro potencial.

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n [|\hat{y}_i - \bar{y}| + |y_i - \bar{y}|]^2} \quad [17]$$

Onde:  $d$  = índice de concordância de Willmott;  $y_i$  = valor medido pelo método de referência para a  $i$ -ésima amostra e para o atributo em estudo;  $\hat{y}_i$  = valor estimado pelo modelo para a  $i$ -ésima amostra e para o atributo em estudo;  $\bar{y}$  = média dos valores observados no método de referência.

#### 3.4.1.4. RMSE (Raiz do erro médio quadrático)

A raiz do erro médio quadrático (eq. 18) é um índice de erro importante na avaliação de modelos que nos indica o verdadeiro tamanho do erro gerado pelo modelo. Willmott (1981) refere que apesar de ter inúmeras vantagens em relação aos índices  $r$  e  $R^2$ , o RMSE não identifica a fonte ou o tipo de erro que o modelo gera. Quando RMSE toma o valor 0, este indica-nos a simulação perfeita gerada pelo modelo (Moriasi *et al*, 2007).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad [18]$$

Onde: RMSE = raiz do erro médio quadrático;  $y_i$  = valor medido pelo método de referência para a  $i$ -ésima amostra e para o atributo em estudo;  $\hat{y}_i$  = valor estimado pelo modelo para a

i-ésima amostra e para o atributo em estudo; n = número de amostras no conjunto de validação.

#### 3.4.1.5. Enviesamento (b)

O enviesamento (eq. 19) identifica a diferença sistemática entre os valores observados e os valores estimados pelo modelo.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)}{n} \quad [19]$$

Onde: b = viés (enviesamento do modelo);  $y_i$  = valor medido pelo método de referência para a i-ésima amostra e para o atributo em estudo;  $\hat{y}_i$  = valor estimado pelo modelo para a i-ésima amostra e para o atributo em estudo; n = número de amostras no conjunto de validação.

#### 3.4.1.6. Eficiência de modelação (Nash-Sutcliffe efficiency)

A eficiência de modelação (eq. 21) é uma estatística análoga ao coeficiente de determinação, que mede a capacidade de o modelo descrever o sistema real (Santos, 2009). Esta eficiência demonstra a forma como a nuvem de pontos, formada entre os dados observados e os estimados, se encaixa na recta de declive igual a 1.

Quando a eficiência de modelação toma o valor da unidade (1,0), corresponde ao ajustamento perfeito do modelo. Quando toma valores entre 0 e 1, a eficiência de modelação indica-nos que o modelo descreve de uma forma aceitável a realidade e quando este toma valores negativos indica-nos um modelo com reduzida capacidade de descrever a realidade (Santos, 2009; Moriasi *et al.*, 2007).

$$ME = \frac{[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2]}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad [21]$$

Onde: ME = eficiência de modelação;  $y_i$  = valor medido pelo método de referência para a i-ésima amostra e para o atributo em estudo;  $\hat{y}_i$  = valor estimado pelo modelo para a i-ésima amostra e para o atributo em estudo;  $\bar{y}$  = média dos valores observados no método de referência.

#### 3.4.1.7. PBIAS (Percentagem de BIAS)

A percentagem de BIAS (eq. 22) mede a tendência média dos dados do modelo serem superiores ou inferiores aos dados observados (Moriasi, 2007), isto é, a tendência média do modelo sobrestimar ou subestimar a realidade. O valor óptimo de PBIAS, para um modelo

que descreve na perfeição a realidade, é de 0,0, sendo que os modelos que apresentem valores de PBIAS de pequena magnitude se revelem como bons descritores da realidade, com boa precisão. Quando PBIAS toma valores negativos, indica-nos que o modelo subestima a realidade e quando toma valores positivos sobrestima.

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i) * 100}{\sum_{i=1}^n y_i} \quad [22]$$

Onde: PBIAS = percentagem de BIAS;  $y_i$  = valor medido pelo método de referência para a  $i$ -ésima amostra e para o atributo em estudo;  $\hat{y}_i$  = valor estimado pelo modelo para a  $i$ -ésima amostra e para o atributo em estudo.

#### 3.4.1.8. Rácio do Desvio padrão (RDP)

O rácio do desvio padrão (eq. 23) é dado pelo quociente entre o Desvio padrão e o RMSEP, sendo obtido desta forma:

$$RDP = \frac{\text{Desvio Padrão}}{\text{RMSEP}} \quad [23]$$

O valor obtido pelo RDP é interpretado da seguinte forma:

- $RDP < 1,5$  - modelo desadequado;
- $1,5 < RDP < 2$  - o modelo discrimina valores elevados e valores baixos;
- $2 < RDP < 2,5$  - é possível prever quantitativamente este atributo mas de uma forma desadequada;
- $2,5 < RDP < 3$  - boa precisão de estimação;
- $RDP > 3$  - excelente precisão de estimação.

Posto isto, o modelo de predição que melhor se adequa apresentará um declive, para a recta de regressão gerada entre o modelo e os valores observados, o mais próximo de 1 e uma ordenada na origem mais próxima de 0. O modelo mais adequado apresentará para o  $R^2$ , bem como para o índice de concordância de Willmott e ainda para eficiência de modelação o valor mais próximo da unidade. Para o RMSE, PBIAS e enviesamento, o modelo mais adequado terá de apresentar valores iguais a 0 ou o mais próximo deste. E por fim para o RDP, o melhor modelo apresentará o valor mais elevado.

### 3.5. Índices de vegetação

Os índices de vegetação foram obtidos através da reflectância, das bandas do visível e infra-vermelho, registadas nas imagens capturadas de avião. Para tal foi contratada uma empresa especializada que efectuou um voo a cerca de 500 metros de altitude tendo a resolução espacial resultante sido de 15 cm. Depois de capturadas, as imagens foram georreferenciadas e corrigidas, de forma a que a sua disposição espacial fosse a mais correcta.

O passo seguinte baseou-se na separação da informação de interesse (copas das árvores) da informação restante, representativa de pastagem e solo. Desta forma foi aplicado um filtro para a separação destes pixéis, eliminando a informação dos que não apresentavam qualquer interesse para os cálculos, e individualizando copa por copa. Para a obtenção dos valores de reflectância para cada árvore, foi criado um centróide em cada indivíduo, contendo a informação necessária para o cálculo dos índices de vegetação (figura 25). O valor correspondente ao centróide foi calculado com base num filtro de média focal 4x4 pixéis.



Figura 25. Exemplo de individualização de copas com centróide - a) copas das árvores; b) individualização das copas e c) copas individualizadas com centróides

Os índices de vegetação utilizados serão índices que utilizam apenas duas bandas, o RGB e o IV próximo, por serem índices que mais facilmente se podem obter e a sua obtenção é, por outro lado, mais barata. Seguem-se os índices (Haboudane et al., 2004; Jackson e Huete, 1991; Qi et al, 1994):

- $$\text{NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R}} \quad [24]$$

- $$\text{SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)} = \frac{\text{NIR} - \text{R}}{\text{NIR} + \text{R} + L} \times (1 + L), \text{ com } L=0.5; \quad [25]$$

- $$\text{PVR (Photosynthetic Vigour Ratio)} = \frac{G}{R} \quad [26]$$



- $PCD \text{ (Plant cell density)} = \frac{NIR}{R}$  [27]
- $PPR \text{ (Plant pigment ratio)} = \frac{G}{B}$  [28]
- $IPVI \text{ (Infrared Percentage Vegetation Index)} = \frac{NIR}{NIR + R}$  [29]
- $DVI \text{ (Difference Vegetation Index)} = NIR - R$  [30]
- $NDVIG \text{ (Normalized Difference Vegetation Index - Green)} = \frac{NIR - G}{NIR + G}$  [31]
- $NDGRI \text{ (Normalized Difference Green Red Index)} = \frac{G - R}{G + R}$  [32]
- $NDGBI \text{ (Normalized Difference Green Blue Index)} = \frac{G - B}{G + B}$  [33]
- $NDRBI \text{ (Normalized Difference Red Blue Index)} = \frac{R - B}{R + B}$  [34]
- $I \text{ (Intensidade)} = G + B + R$  [35]
- $S \text{ (Saturação)} = \frac{(G + B + R) - 3B}{G + B + R}$  [36]
- $SGB \text{ (Subtraction Green Blue)} = G - B$  [37]
- $RB \text{ (Red Blue)} = \frac{R}{B}$  [38]
- $RPER \text{ (Red Percentage)} = \frac{R}{I}$  [39]
- $GPER \text{ (Green Percentage)} = \frac{G}{I}$  [40]
- $BPER \text{ (Blue Percentage)} = \frac{B}{I}$  [41]

Embora exista redundância nos índices de vegetação utilizados, por alguns serem muito correlacionados devido à sua origem idêntica, estes serão mantidos no estudo até à análise de correlação e nessa altura será feita uma selecção dos índices.

O NDVI, tal como já foi referido no capítulo 2.3.2, é o índice de vegetação mais utilizado em detecção remota para medir o vigor do coberto vegetal, estando o seu valor compreendido entre 0 e 1 (para as plantas), onde a unidade representa o máximo de vigor. Contrastando com o NDVI que utiliza as bandas de infravermelho próximo e vermelho para os efeitos de cálculo, o NDVIG substitui directamente a banda do vermelho pelo verde, para estimar o conteúdo de clorofila nas folhas. Uma vez que ao aumentar o conteúdo de clorofila nas folhas, a banda do verde é mais absorvida, desta forma ao aumentar o conteúdo de clorofila aumenta o valor do NDVIG (Warren *et al.*, 2005). O índice de vegetação PCD é utilizado com a mesma finalidade que o NDVI, isto é, para medir o vigor da vegetação, tornando-o comum na gestão da vinha em viticultura de precisão (Proffitt *et al.*, 2004).

O índice de vegetação SAVI foi contruído com o objectivo de reduzir a interação do solo das imagens de detecção remota verificada no NDVI. Desta forma a este índice foi introduzido uma constante de calibração da reflectância do solo (L) que pode tomar valores de 0,25 para densidades de vegetação elevadas, 0,5 para densidades médias e 1 para baixas densidades (Huete, 1988).

O PVR é um índice de vegetação que utiliza a banda do verde como banda de referência e a banda do vermelho por ser muito absorvida pela clorofila. Assim, este índice apresenta os valores mais elevados para as plantas mais fotossinteticamente activas (Warren *et al.*, 2005). A par com o PVR encontra-se o índice PPR que utiliza mais uma vez a banda do verde como referência, mas neste caso, no denominador encontra-se a banda do azul. As plantas mais pigmentadas absorvem melhor a banda do azul, e desta forma, quanto mais pigmentada for a planta maior será o valor do PPR (Warren *et al.*, 2005).

O DVI é um índice de auxílio à diferenciação de vegetação, solo e água. Quando este índice toma valores negativos indica água, quando toma o valor nulo indica a presença de solo nu e toma valores positivos para vegetação. Desta forma, este índice utiliza o declive da linha do solo para fazer as diferenciações (Silleos *et al.*, 2006).

### 3.6. Índices geométricos da copa

As imagens utilizadas para o estudo possuem uma resolução elevada, com 15cm, apresentando uma grande vantagem em relação às imagens capturadas por satélite (resolução espacial reduzida) que é a possibilidade delimitação das copas das árvores por polígonos. Os índices geométricos foram utilizados e testados pela possibilidade da geometria das árvores estar relacionada com a produtividade e qualidade da cortiça produzida. Sendo assim, seguem-se os índices geométricos utilizados para cada copa (Ferreira et al., 2010):

- Área (A) - representa a área da projecção horizontal da copa observada por DR
- Perímetro (P) - representa o perímetro da projecção horizontal da copa observado por DR

- Raio da copa com base na área  $= \sqrt{\frac{A}{\pi}}$  [42]

- Raio da copa com base no perímetro  $= \frac{P}{2\pi}$  [43]

- Rácio dos raios  $= \frac{\text{rácio com base na área}}{\text{rácio com base no perímetro}}$  [44]

- Área com base no perímetro  $A_c = \frac{P^2}{4\pi}$  [45]

- Perímetro com base na área  $P_c = 2\pi \sqrt{\frac{A}{\pi}}$  [46]

- Coeficiente de Compacidade  $K_c = \frac{P}{P_c} = \left( \frac{\sqrt{\pi}}{2\pi} \right) \times \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right)$  [47]

- Índice de Circularidade  $I_c = \frac{A}{A_c} = \left( \frac{A}{P^2} \right) \times 4\pi$  [48]

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Dados de campo

#### 4.1.1. Estatística descritiva

Os dados de campo, observados e registados no campo, foram sujeitos a uma análise estatística descritiva. Com esta análise poder-se-á verificar a variabilidade espacial de cada variável. A estatística descritiva é então utilizada para averiguar a variabilidade existente (e sua magnitude) no montado, de forma a verificar se a parcela se adequa ao estudo em causa.

A medida de maior relevância nesta análise será o coeficiente de variação, por nos indicar qual o desvio relativo que os valores podem tomar em relação à média, uma vez que a principal característica a ser analisada nesta fase será a variabilidade espacial que se verifica neste montado de sobro. Utiliza-se então o coeficiente de variação por este uniformizar as variações verificadas entre as variáveis e por ser insensível à unidade e sua magnitude.

Posto isto, ao analisarmos os dados foi possível reter alguns dados estatísticos relevantes. Seguem-se as conclusões retiradas através da análise dos dados de relevância (quadro 3):

- a espessura da cortiça e a área média da copa das copas demonstram um variabilidade significativa, atingindo valores de 33% para a espessura e 42% para a área média das copas;
- a superfície descortiçada, a produtividade e a classificação da cortiça, sendo das variáveis de maior importância para o estudo, apresentam valores para o coeficiente de variação mais significativos, sendo estes 47%, 68% e 53%, respectivamente, encontrando-se assim entre as variáveis com coeficientes de variação mais elevados;
- o número de pernadas descortiçadas e o comprimento de descortiçamento apresentam grande variabilidade, 80% e 95%, respectivamente;
- a variabilidade do número de pernadas por árvore é de 25%;
- nenhuma existe nenhuma variável que não apresente variabilidade ( $c.v. < 10\%$ ), onde a altura total é a variável com coeficiente de variação mais baixo (14%).

Tendo em conta a gestão da parcela, a amplitude que as variáveis apresentam tem relevância, uma vez que podem surgir casos de grande disparidade como é o caso da

produção de cortiça que apresenta uma amplitude de 115kg, tendo em conta que o valor máximo verificado foi de 126kg.

Por fim poder-se-á dizer que esta parcela de montado de sobro se adequa ao estudo por apresentar grande variabilidade espacial que poderá vir a ser explicada pela detecção remota.

**Quadro 3. Estatística descritiva dos dados de campo recolhidos no campo**

	Perímetro altura do peito (m)	Raio altura do peito (m)	Diâmetro altura do peito (m)	Perímetro na base (m)	Perímetro altura do peito descortçado (m)	Raio altura do peito descortçado (m)	Espessura da cortiça (m)	Raio 0° da copa (m)	Raio 90° da copa (m)	Raio 180° da copa (m)	Raio 270° da copa (m)	Raio médio (m)	Perímetro médio (m)	Área média (m2)	Altura fuste (m)	Altura bifurcação (m)	Nº pernadas	Nº pernadas descortçadas	Altura de descortçamento no fuste (m)	Comprimento de descortçamento nas pernadas (m)	Altura descortçamento vertical (m)	Superfície descortçada (m2)	Altura total (m)	Altura na base da canópia (m)	Altura da canópia (m)	Perímetro das pernadas a descortçar (m)	Produtividade (kg/árvore)	Espessura cozida (mm)	Nº linhas (1linha=2,256mm)	Classe real	Classificação
Média	1,48	0,23	0,47	2,05	1,27	0,20	0,03	4,43	4,24	3,85	4,07	4,15	26,05	56,44	1,96	2,42	2,74	1,94	1,87	0,88	2,94	4,53	8,37	2,66	5,71	0,67	49,85	29,38	12,79	5,03	4,52
Desvio Padrão	0,32	0,05	0,10	0,44	0,30	0,05	0,01	1,50	1,29	1,01	1,38	0,89	5,61	23,56	0,49	0,48	0,68	1,55	0,36	0,83	0,89	2,11	1,15	0,62	0,98	0,53	34,14	9,35	4,52	1,64	2,38
Mínimo	0,88	0,14	0,28	1,12	0,68	0,11	0,02	1,10	1,80	2,30	0,00	2,45	15,39	18,86	1,10	1,40	2,00	0,00	1,10	0,00	1,60	1,41	5,80	2,00	3,40	0,00	11,00	12,00	4,00	3,00	1,00
Primeiro Quartil	1,33	0,21	0,42	1,87	1,12	0,18	0,02	3,90	3,35	3,10	3,30	3,60	22,62	40,72	1,70	2,10	2,00	0,00	1,70	0,00	2,15	2,87	7,35	2,20	5,10	0,00	20,75	23,61	10,29	3,50	2,50
Mediana	1,44	0,23	0,46	1,98	1,27	0,20	0,03	4,50	4,20	3,40	4,10	4,18	26,23	54,76	1,90	2,30	3,00	3,00	1,80	0,70	2,80	4,42	8,70	2,50	5,90	0,94	43,00	27,86	12,34	5,00	5,00
Terceiro Quartil	1,67	0,26	0,53	2,32	1,45	0,23	0,04	5,10	5,10	4,60	4,95	4,64	29,14	67,56	2,10	2,65	3,00	3,00	2,10	1,60	3,65	5,49	9,20	2,85	6,50	1,09	65,95	33,92	15,04	7,00	7,00
Máximo	2,35	0,37	0,75	2,96	2,15	0,34	0,07	8,00	6,60	6,50	6,80	6,15	38,64	118,82	3,50	3,70	4,00	4,00	2,70	2,50	4,70	9,40	10,20	5,00	7,20	1,31	126,00	55,74	24,71	7,00	7,00
Amplitude	1,47	0,23	0,47	1,84	1,47	0,23	0,05	6,90	4,80	4,20	6,80	3,70	23,25	99,97	2,40	2,30	2,00	4,00	1,60	2,50	3,10	7,99	4,40	3,00	3,80	1,31	115,00	43,74	20,71	4,00	6,00
Variância	0,10	0,00	0,01	0,19	0,09	0,00	0,00	2,26	1,66	1,03	1,89	0,80	31,47	555,31	0,24	0,23	0,46	2,40	0,13	0,69	0,79	4,44	1,32	0,38	0,95	0,28	1165,84	87,41	20,43	2,70	5,66
Coef. Variação	0,22	0,22	0,22	0,21	0,24	0,24	0,33	0,34	0,30	0,26	0,34	0,22	0,22	0,42	0,25	0,20	0,25	0,80	0,19	0,95	0,30	0,47	0,14	0,23	0,17	0,79	0,68	0,32	0,35	0,33	0,53

#### 4.1.2. Distribuição espacial da produtividade e classificação

As figuras 26 e 27 são, respectivamente, referentes à distribuição espacial da produtividade e classificação da cortiça das árvores amostradas.

Pela figura 26, ainda que a amostragem seja pequena para se definir uma tendência contínua na parcela, é possível observar um padrão dentro de cada grupo de árvores. Nos 7 grupos formados em regra geral por 5 árvores, entre cada grupo verifica-se uma grande variedade de categorias de produtividade, existindo grupos de produtividade elevada (kg/árvore), grupos de reduzida produtividade e ainda grupo de grande heterogeneidade produtiva. Numa visão global da parcela, observa-se uma região composta por dois grupos de amostragem de árvores com a produtividade mais baixa, onde a cor amarela sobressai; e uma região a oeste onde os grupos são formados por árvores de maior produtividade.

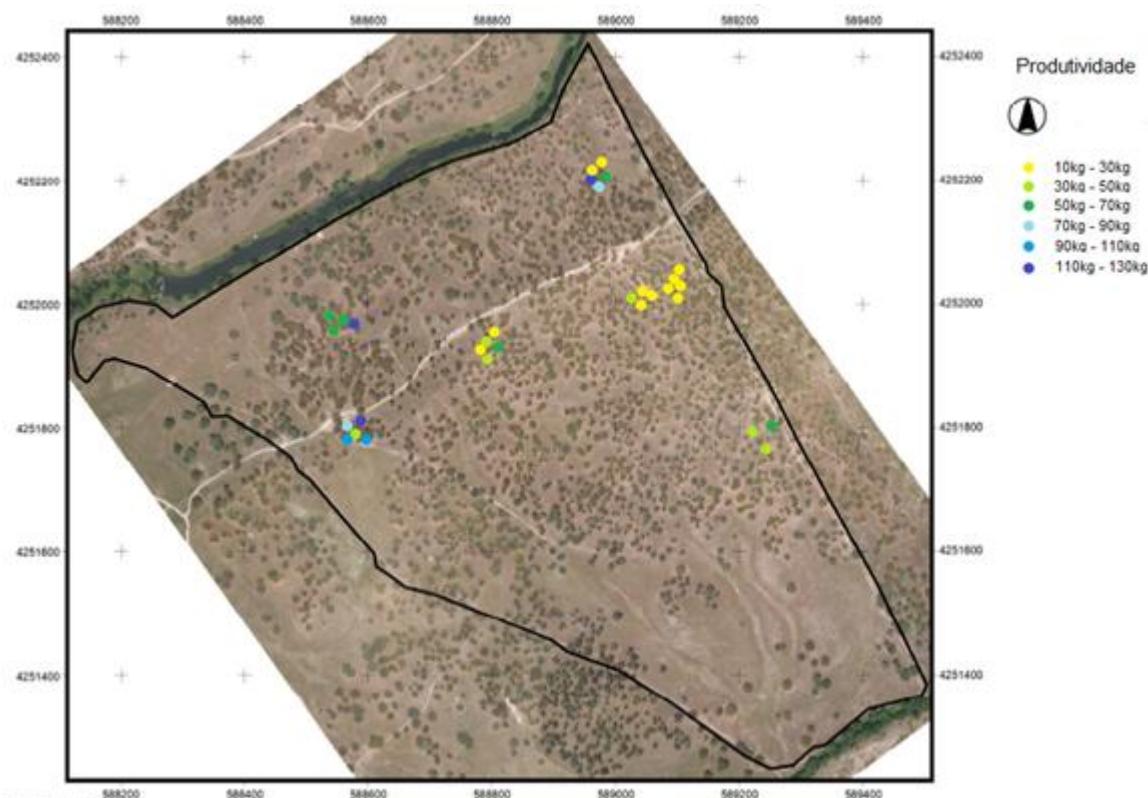


Figura 26. Produtividade de cortiça das árvores amostradas

Ao contrário do que se verifica para a produtividade (figura 26), na figura 27 não se verifica a existência de qualquer padrão relacionado com a classificação da cortiça, estando presente uma grande heterogeneidade, tanto a nível global bem como dentro de cada grupo.

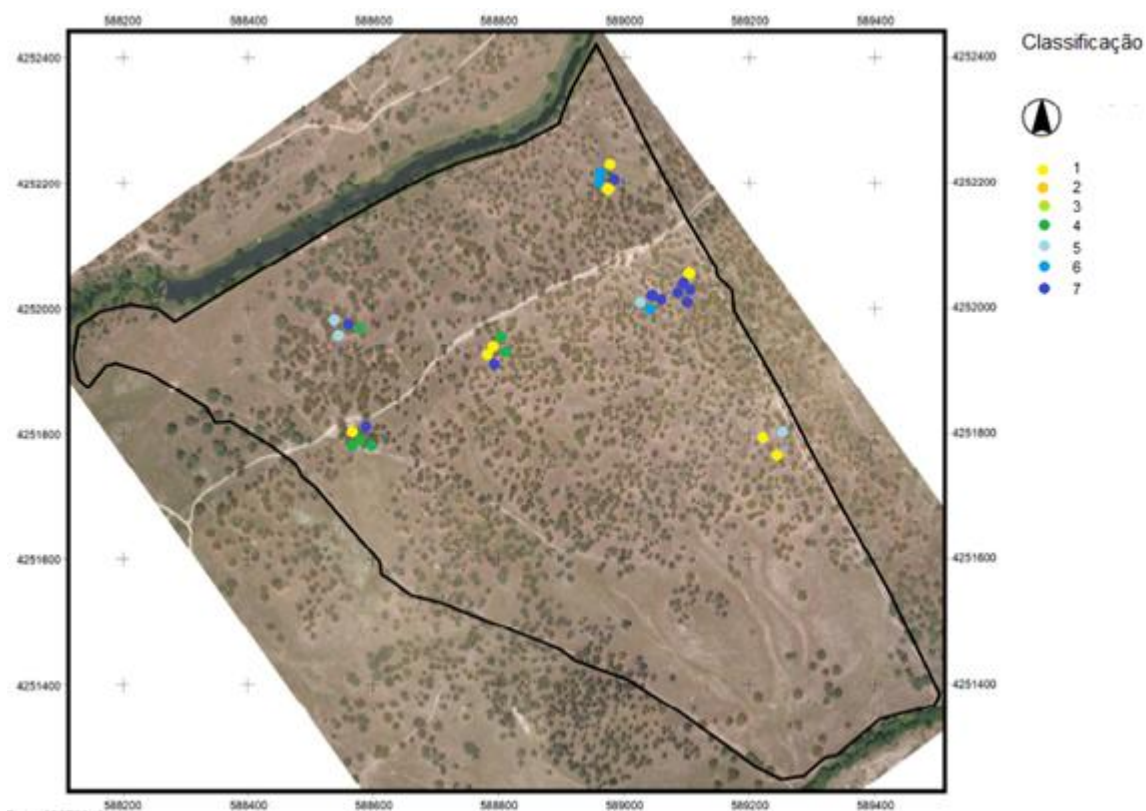


Figura 27. Carta de classificação da qualidade da cortiça das árvores amostradas



## 4.2. Índices de vegetação e índices geométricos da copa

### 4.2.1. Estatística descritiva

Os índices de vegetação e índices geométricos da copa, foram sujeitos a uma análise estatística descritiva. Com esta análise poder-se-á verificar a variabilidade que cada índice apresenta na extensão espacial e comparar com a variabilidade verificada para os dados de campo.

Tal como foi feito na estatística descritiva dos dados de campo, medida de maior relevância nesta análise será o coeficiente de variação, mais uma vez à variabilidade espacial no montado de sobro.

Seguem-se as conclusões retiradas através da análise dos dados (quadro 4):

- verifica-se que as variáveis com maior variabilidade são o NDGRI com coeficiente de variação de 59% e a área da copa com 49%;
- os índices geométricos, perímetro, raio com base na área e raio com base no perímetro são os que se seguem, a par com o SGB com coeficientes de variação entre 20% e 30% (27%, 25%, 27% e 22%, respectivamente);
- por último, com variabilidades consideradas reduzidas (muito próximo de 10%) encontra-se o NDVI (c.v.=16%), o DVI(c.v.=15%), o NDVIG (c.v.=12%), o NDGBI (c.v.=16%), o NDRBI (c.v.=16%), o I (c.v.=11%), o S (c.v.=12%) e a circularidade (c.v.=16%).

Comparando os quadros 4 e 5 da estatística descritiva dos índices de vegetação e geométricos torna-se possível verificar pelo coeficiente de variação que a amostra representa bem a parcela em estudo, uma vez que as variações registadas entre índices se mantém, alterando-se apenas em alguns casos a magnitude do seu coeficiente de variação.

Embora a amostra seja representativa da parcela, os valores para o coeficiente de variação registados dos índices geométricos para o total das árvores existentes na parcela, revelam-se bastantes distintos dos registados na nossa amostra. Este facto pode ser explicado pela recolha da amostra ter sido feita de forma aleatória, por se tratar de um montado de sobro onde a replantação é contante ao longo do tempo, gerando por sua vez grande amplitude para a idade das árvores e ainda pela heterogeneidade inerente ao conceito de montado de sobro.

Quadro 4. Estatística descritiva dos índices geométricos e de vegetação das árvores amostradas

	NDVI	PVR	PCD	PPR	IPVI	DVI	SGB	RB	NDVI G	NDGRI	NDGBI	NDRBI	I	HUE	S	RPER	GPER	BPER	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Raio com base na área (m)	Raio com base no perímetro (m)	Rácio dos raios	Circularidade	Compacidade
Média	0,27	0,90	1,76	1,32	0,64	94,52	27,93	1,47	0,32	-0,05	0,14	0,14	327,06	0,00	85,44	0,39	0,35	0,26	70,07	36,85	4,59	5,86	0,79	0,63	12,56
Desvio Padrão	0,04	0,06	0,15	0,06	0,02	13,75	6,12	0,09	0,04	0,03	0,02	0,02	37,32	0,00	9,92	0,01	0,01	0,01	34,41	9,94	1,13	1,58	0,06	0,10	0,97
Mínimo	0,14	0,80	1,36	1,14	0,57	54,11	11,89	1,23	0,24	-0,11	0,07	0,07	255,44	0,00	64,24	0,35	0,33	0,25	17,90	19,06	2,39	3,03	0,66	0,44	10,35
Primeiro Quartil	0,25	0,87	1,65	1,30	0,62	88,53	23,39	1,42	0,30	-0,07	0,13	0,13	300,33	0,00	77,88	0,38	0,34	0,26	41,77	28,95	3,65	4,61	0,76	0,58	11,86
Mediana	0,27	0,89	1,74	1,32	0,64	93,78	28,50	1,49	0,31	-0,06	0,14	0,14	334,11	0,00	88,00	0,39	0,35	0,26	61,11	34,59	4,41	5,51	0,78	0,61	12,63
Terceiro Quartil	0,31	0,92	1,90	1,37	0,65	104,61	33,11	1,52	0,35	-0,04	0,16	0,16	356,06	0,00	93,04	0,39	0,36	0,27	89,87	44,49	5,35	7,08	0,83	0,69	12,96
Máximo	0,33	1,07	1,98	1,42	0,66	118,67	36,78	1,67	0,39	0,04	0,17	0,17	400,33	0,00	106,53	0,41	0,37	0,29	156,97	57,47	7,07	9,15	0,95	0,91	14,89
Amplitude	0,19	0,27	0,62	0,29	0,09	64,56	24,89	0,44	0,15	0,14	0,11	0,11	144,89	0,00	42,29	0,07	0,05	0,04	139,07	38,41	4,68	6,11	0,29	0,47	4,53
Variância	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	189,13	37,50	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1393,00	0,00	98,35	0,00	0,00	0,00	1184,13	98,86	1,27	2,50	0,00	0,01	0,94
Coef. Variação	0,16	0,06	0,09	0,04	0,03	0,15	0,22	0,06	0,12	-0,59	0,16	0,16	0,11	0,00	0,12	0,03	0,03	0,03	0,49	0,27	0,25	0,27	0,08	0,16	0,08

Quadro 5. Estatística descritiva dos índices geométricos e de vegetação de todas as árvores da parcela em estudo

	NDVI	PVR	PCD	PPR	IPVI	DVI	SGB	RB	NDVIG	NDGRI	NDGBI	NDRBI	I	HUE	S	RPER	GPGR	BPER	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Raio com base na área (m)	Raio com base no perímetro (m)	Rácio dos raios	Circularidade	Compacidade
Média	0,30	0,95	1,89	1,29	0,65	102,68	24,71	1,36	0,33	-0,03	0,12	0,12	317,50	0,00	88,37	0,37	0,35	0,27	78,96	38,69	4,78	6,16	0,79	0,64	12,63
Desvio Padrão	0,05	0,06	0,21	0,10	0,02	16,75	7,61	0,14	0,04	0,03	0,04	0,04	32,34	0,00	9,68	0,02	0,01	0,02	51,59	14,13	1,51	2,25	0,09	0,14	1,55
Mínimo	0,04	0,77	1,20	1,03	0,52	19,33	2,56	0,85	0,15	-0,13	0,02	0,02	190,56	0,00	54,46	0,29	0,31	0,22	3,67	7,97	1,08	1,27	0,44	0,19	10,20
Primeiro Quartil	0,27	0,90	1,75	1,22	0,64	92,00	19,22	1,25	0,31	-0,05	0,10	0,10	296,28	0,00	79,87	0,36	0,35	0,26	43,62	28,55	3,73	4,54	0,73	0,54	11,48
Mediana	0,30	0,95	1,87	1,28	0,65	102,67	24,67	1,36	0,33	-0,03	0,12	0,12	318,33	0,00	88,06	0,37	0,35	0,27	67,82	36,82	4,65	5,86	0,80	0,65	12,26
Terceiro Quartil	0,34	0,99	2,01	1,35	0,67	113,67	29,89	1,48	0,35	0,00	0,15	0,15	340,28	0,00	92,85	0,39	0,36	0,29	101,78	46,28	5,69	7,37	0,86	0,74	13,43
Máximo	0,51	1,24	3,05	1,72	0,75	162,11	54,33	1,82	0,49	0,11	0,26	0,26	417,00	0,00	117,33	0,43	0,39	0,34	452,16	124,57	12,00	19,83	0,97	0,94	22,51
Amplitude	0,47	0,48	1,85	0,69	0,23	142,78	51,78	0,97	0,34	0,24	0,25	0,25	226,44	0,00	62,87	0,13	0,08	0,12	448,49	116,60	10,92	18,56	0,53	0,74	12,31
Variância	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	280,47	57,93	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1045,58	0,00	93,67	0,00	0,00	0,00	2661,59	199,65	2,28	5,06	0,01	0,02	2,40
Coef. Variação	0,16	0,07	0,11	0,08	0,04	0,16	0,31	0,10	0,11	-1,23	0,30	0,30	0,10	0,00	0,11	0,05	0,03	0,06	0,65	0,37	0,32	0,37	0,11	0,21	0,12

#### 4.2.2. Distribuição espacial

As imagens de detecção remota possibilitam-nos dividir por classes os índices em estudo de forma a gerar uma forma mais simples de visualizar e detectar nos mesmos uma tendência (ou falta dela) na sua distribuição geográfica, que permite desta forma perceber o que terá maior influência nas variações das características em estudo de árvore para árvore.

Através da observação da figura 28, verifica-se que a área das copas e o NDGRI são índices com uma grande variabilidade, demonstrando um padrão de variação espacial. Cada um deles apresenta um padrão na distribuição da variabilidade, mas cada uma com padrões distintos entre eles.

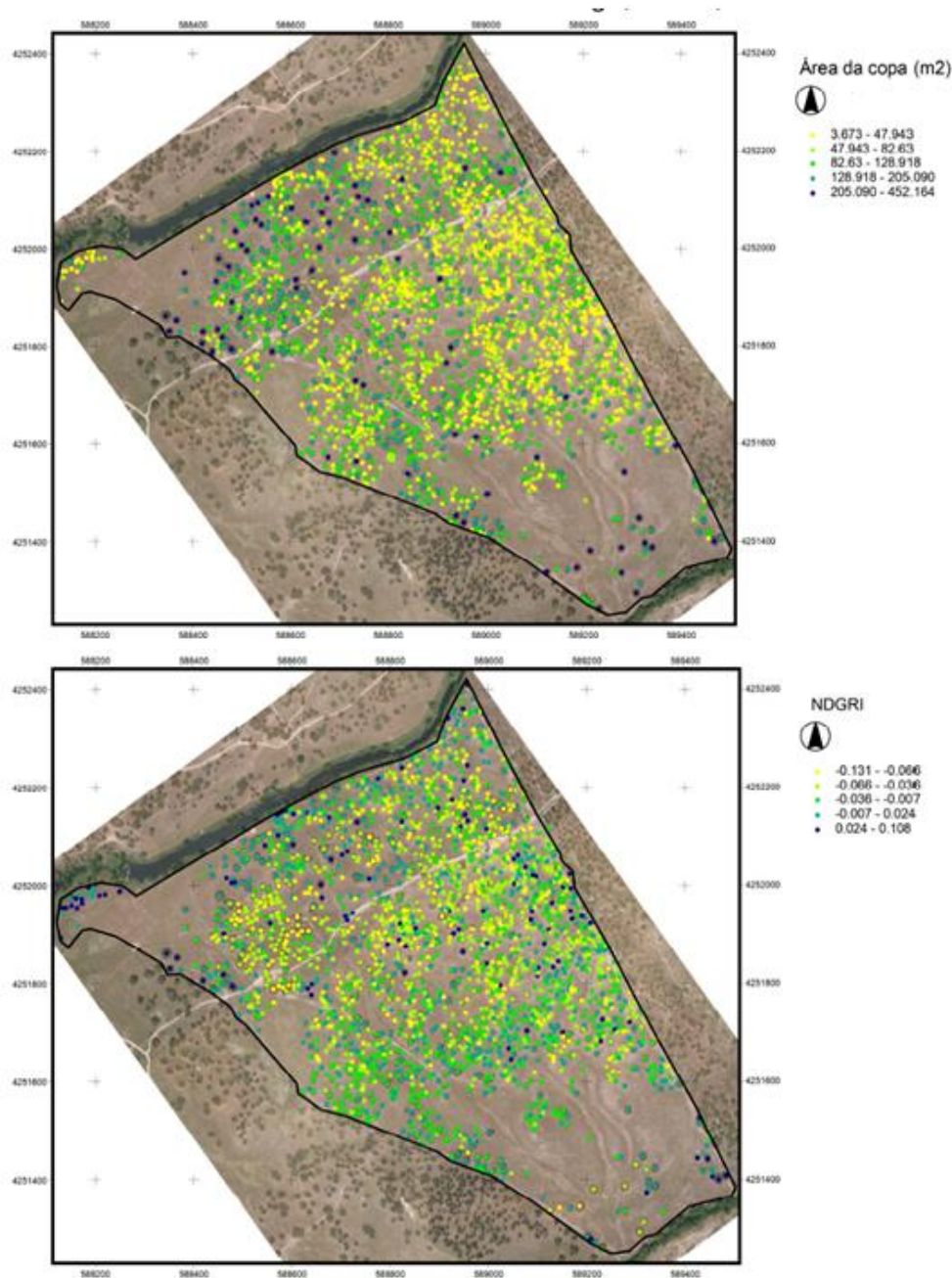


Figura 28. Cartas de Área da copa e NDGRI da parcela, respectivamente

Em observação à figura relativa aos raios com base no perímetro e com base na área (figura 29), constata-se que ambas apresentam uma distribuição espacial semelhante, revelando uma relação entre os dois índices.

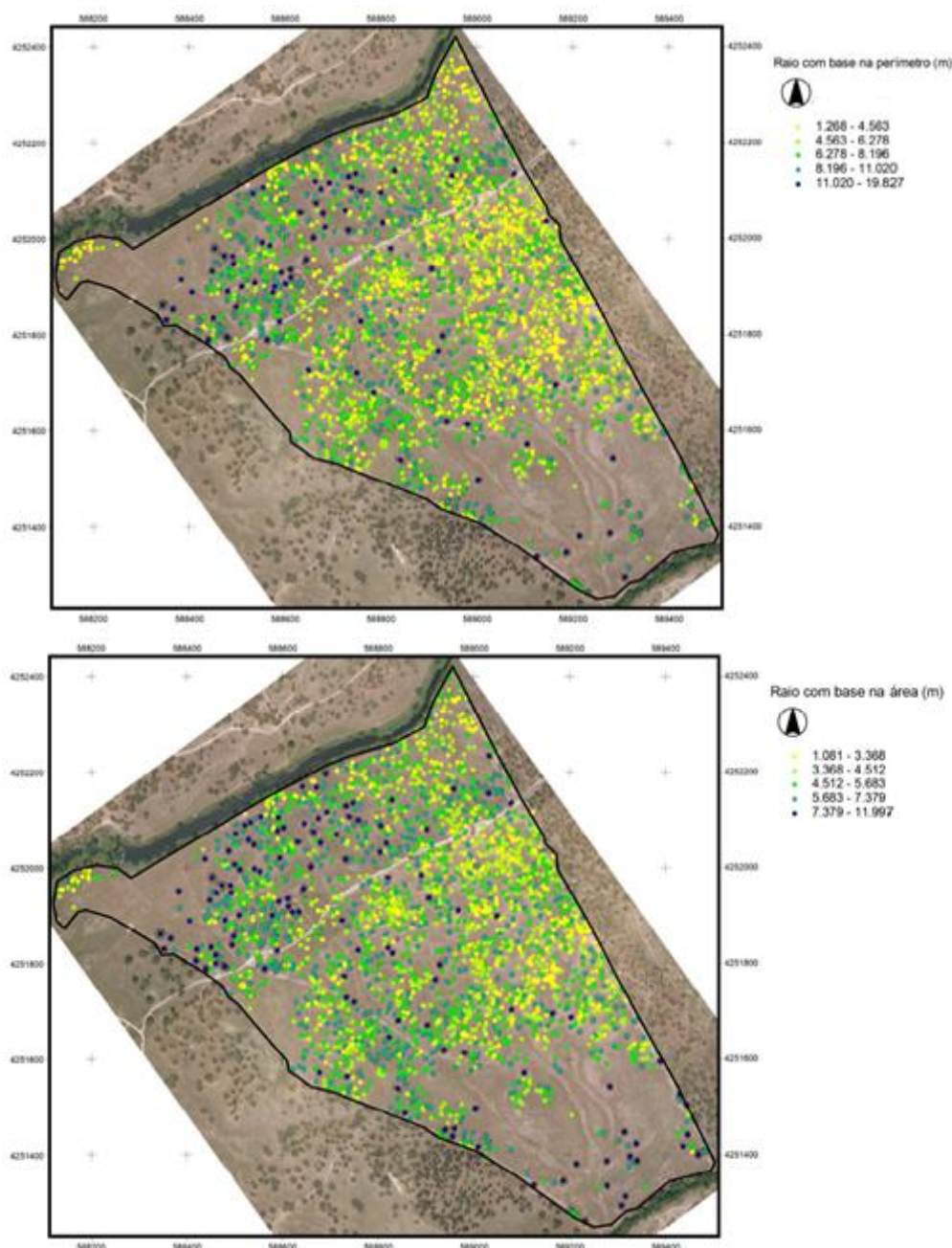


Figura 29. Cartas de Raio com base no perímetro e Raio com base na área, respectivamente



Comparando a figura referente ao perímetro das copas (figura 30) com a figura 29, mais uma vez se verifica uma relação entre os índices, principalmente entre o perímetro das copas e o raio com base no perímetro, por o segundo derivar do primeiro. Nas duas figuras (29 e 30) pode-se observar um padrão de distribuição que parece ser afectado pela zona da estrada, isto é, pela existência do ligeiro vale.

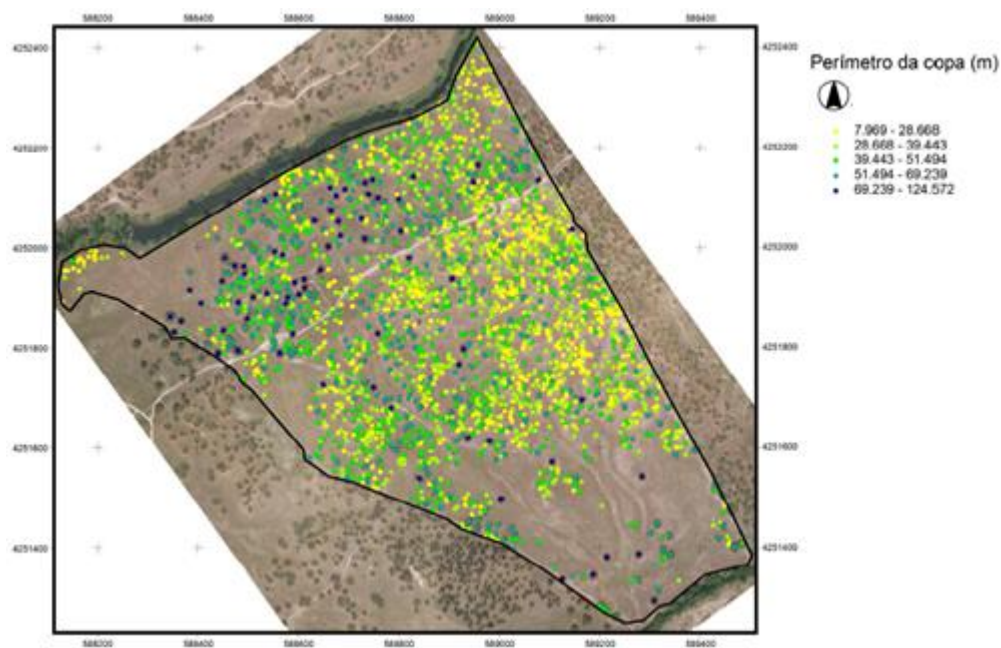


Figura 30. Carta do Perímetro da copa

## 4.3. Correlação e modelação

### 4.3.1. Análise de correlação

A análise de correlação permite-nos verificar a relação existente entre cada variável em estudo. Isto é, o coeficiente de correlação indica a linearidade que possa existir entre as variáveis, podendo esta ser positiva ou negativa (entre -1 e 1). Nos quadros 6, 7 e 8 estão demonstrados os valores de cada correlação.

Observando os valores de  $r$  obtidos para as correlações podemos fazer uma análise de quais as variáveis em estudo que melhor se relacionam com as variáveis que estudar. Desta forma, as variáveis de maior interesse para o estudo da gestão do montado de sobro, dada a sua relevância na produção de cortiça, são: a produtividade (de cortiça) em kg/árvore e a classificação da cortiça, na escala de classificação de 1 a 7.

Analisando as correlações mais significativas entre a produtividade e os dados de campo (quadro 6), observou-se que:

- a produtividade do sobreiro revela uma forte correlação com a geometria da árvore, tendo-se registado valores de 81% para o PAP (e variáveis provenientes), 74% para o perímetro na base (e variáveis provenientes), 75% para a área, perímetro e raio médios da copa;
- as variáveis referentes às pernadas demonstram correlação significativa, com 72% para o número de pernadas, 78% para o número de pernadas descortiçadas e 84% para o comprimento de descortiçamento das pernadas;
- a altura de descortiçamento vertical, a par com a superfície de descortiçamento, são as variáveis com maior relação com a produtividade, tendo-se registado valores de 88% e 94%, respectivamente;
- a produtividade apresenta uma linearidade significativa com a espessura cozida,  $r=71\%$ ;
- a única correlação negativa, significativa, verifica-se com a altura de descortiçamento no fuste,  $r=-67\%$ .

Analisando as correlações entre a classificação e os outros dados de campo, observou-se que não existem correlações ( $p<0,05$ ), com excepção da classe real que tem a mesma proveniência ( $r=97\%$ ).

Em análise às correlações entre a produtividade e os dados obtidos por detecção remota do quadro 8, verificou-se que:

- mais uma vez as variáveis com maior correlação com a produtividade são as geometrias da árvore, dentro destas encontram-se a área da copa, o perímetro e os raios obtidos através destas ( $56\% < r < 62\%$ );
- a correlação negativa existente com o I e S ( $r = -42\%$  e  $r = -44\%$ , respectivamente) demonstra que a eficácia de absorção das bandas de RGB (na sua globalidade) está positivamente relacionada com a produtividade.

Analisando as correlações mais significativas entre a classificação da cortiça e os dados obtidos por detecção remota (quadro 8), verificou-se o seguinte:

- as correlações com o PVR ( $r = 41\%$ ), NDGRI ( $r = 40\%$ ), o GPER ( $r = 41\%$ ) e o DVI ( $r = 46\%$ ) revelam que para a cortiça ter uma classificação alta (melhor qualidade), a banda do vermelho tem de ser mais absorvida e sucede-se o inverso com a banda do verde;
- as correlações positivas com o NDVI ( $r = 45\%$ ) e com o IPVI ( $r = 45\%$ ) demonstram que a classificação alta está relacionada com o bom vigor da árvore;
- o PCD, que traduz a quantidade de biomassa fotossinteticamente activa, apresenta correlação positiva com a classificação,  $r = 44\%$ .

De referir que para além da classificação da cortiça apresentar correlações com as variáveis de índices de vegetação bastantes distintas das correlações que apresenta a produtividade (com as mesmas variáveis), a classificação da cortiça não apresenta correlações ( $p < 0,05$ ) com índices geométricos.



Quadro 6. Análise de correlação das variáveis dos dados de campo (p < 0,05). A vermelho estão os valores significativamente relacionados

	Perímetro altura do peito (m)	Raio altura do peito (m)	Diâmetro altura do peito (m)	Perímetro na base (m)	Perímetro altura do peito descortçado (m)	Raio altura do peito descortçado (m)	Espessura da cortiça (m)	Raio 0° da copa (m)	Raio 90° da copa (m)	Raio 180° da copa (m)	Raio 270° da copa (m)	Raio médio (m)	Perímetro médio (m)	Área média (m2)	Altura fuste (m)	Altura bifurcação (m)	Nº Pernadas	Nº Pernadas descortçadas	Altura de descortçamento no fuste (m)	Comprimento descortçamento pernadas (m)	Altura descortçamento vertical (m)	Superfície descortçada (m2)	Altura total (m)	Altura na base da canóia (m)	Altura da canóia (m)	Perímetro pernadas a descortçar (m)	Produtividade (kg/árvore)	Espessura cozida (mm)	Nº linhas (1linha=2,256mm)	Classe real	Classificação
Perímetro altura do peito (m)	1,00																														
Raio altura do peito (m)	1,00	1,00																													
Diâmetro altura do peito (m)	1,00	1,00	1,00																												
Perímetro na base (m)	0,90	0,90	0,90	1,00																											
PAP descortçado (m)	0,98	0,98	0,98	0,90	1,00																										
Raio altura do peito descortçado (m)	0,98	0,98	0,98	0,90	1,00	1,00																									
Espessura da cortiça (m)	0,39	0,39	0,39	0,28	0,20	0,20	1,00																								
Raio 0° da copa (m)	0,47	0,47	0,47	0,46	0,42	0,42	0,36	1,00																							
Raio 90° da copa (m)	0,67	0,67	0,67	0,62	0,63	0,63	0,41	0,28	1,00																						
Raio 180° da copa (m)	0,61	0,61	0,61	0,51	0,59	0,59	0,26	0,26	0,44	1,00																					
Raio 270° da copa (m)	0,53	0,53	0,53	0,59	0,57	0,57	-0,03	0,43	0,00	0,59	1,00																				
Raio médio (m)	0,80	0,80	0,80	0,77	0,78	0,78	0,37	0,75	0,60	0,76	0,70	1,00																			
Perímetro médio (m)	0,80	0,80	0,80	0,77	0,78	0,78	0,37	0,75	0,60	0,76	0,70	1,00	1,00																		
Área média (m2)	0,81	0,81	0,81	0,77	0,79	0,79	0,36	0,72	0,63	0,78	0,67	0,99	0,99	1,00																	
Altura fuste (m)	-0,53	-0,53	-0,53	-0,53	-0,54	-0,54	-0,13	-0,26	-0,33	-0,28	-0,46	-0,47	-0,47	-0,44	1,00																
Altura bifurcação (m)	-0,41	-0,41	-0,41	-0,32	-0,41	-0,41	-0,11	-0,15	-0,24	-0,16	-0,34	-0,32	-0,32	-0,30	0,89	1,00															
Nº pernadas	0,75	0,75	0,75	0,75	0,72	0,72	0,36	0,26	0,58	0,61	0,41	0,64	0,64	0,66	-0,42	-0,17	1,00														
Nº pernadas descortçadas	0,73	0,73	0,73	0,71	0,70	0,70	0,37	0,32	0,62	0,68	0,44	0,71	0,71	0,70	-0,50	-0,30	0,80	1,00													
Altura descortçamento no fuste (m)	-0,60	-0,60	-0,60	-0,59	-0,57	-0,57	-0,31	-0,28	-0,54	-0,53	-0,39	-0,60	-0,60	-0,58	0,58	0,42	-0,60	-0,93	1,00												
Comp. descortçamento pernadas(m)	0,72	0,72	0,72	0,69	0,68	0,68	0,36	0,28	0,60	0,67	0,48	0,70	0,70	0,69	-0,45	-0,29	0,70	0,84	-0,80	1,00											
Altura descortçamento vertical (m)	0,69	0,69	0,69	0,68	0,67	0,67	0,32	0,31	0,55	0,64	0,48	0,68	0,68	0,67	-0,29	-0,10	0,67	0,80	-0,74	0,92	1,00										
Superfície descortçada (m2)	0,89	0,89	0,89	0,83	0,86	0,86	0,40	0,40	0,68	0,67	0,50	0,79	0,79	0,80	-0,40	-0,24	0,75	0,81	-0,70	0,90	0,93	1,00									
Altura total (m)	0,33	0,33	0,33	0,41	0,32	0,32	0,17	-0,11	0,31	0,45	0,23	0,28	0,28	0,29	0,18	0,31	0,40	0,42	-0,37	0,44	0,56	0,51	1,00								
Altura na base da canóia (m)	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	-0,04	-0,49	0,21	0,16	-0,11	-0,13	-0,13	-0,10	0,13	0,13	0,23	0,30	-0,27	0,28	0,36	0,23	0,52	1,00							
Altura da canóia (m)	0,37	0,37	0,37	0,45	0,35	0,35	0,22	0,18	0,24	0,43	0,34	0,40	0,40	0,41	0,12	0,28	0,32	0,30	-0,27	0,34	0,43	0,45	0,85	-0,02	1,00						
Perímetro pernadas a descortçar (m)	0,73	0,73	0,73	0,68	0,70	0,70	0,39	0,34	0,59	0,58	0,44	0,68	0,68	0,66	-0,55	-0,41	0,64	0,94	-0,96	0,83	0,81	0,81	0,42	0,25	0,34	1,00					
Produtividade (kg/árvore)	0,81	0,81	0,81	0,74	0,74	0,74	0,59	0,47	0,65	0,65	0,37	0,75	0,75	0,75	-0,36	-0,19	0,72	0,78	-0,67	0,84	0,88	0,94	0,42	0,14	0,41	0,78	1,00				
Espessura cozida (mm)	0,45	0,45	0,45	0,29	0,31	0,31	0,81	0,30	0,38	0,46	0,07	0,42	0,42	0,43	-0,07	-0,05	0,41	0,46	-0,39	0,50	0,46	0,53	0,26	-0,03	0,32	0,49	0,71	1,00			
Nº linhas (1linha=2,256mm)	0,38	0,38	0,38	0,20	0,24	0,24	0,78	0,28	0,27	0,34	0,02	0,32	0,32	0,33	-0,01	-0,01	0,37	0,39	-0,32	0,35	0,30	0,39	0,18	-0,07	0,25	0,40	0,58	0,94	1,00		
Classe real	-0,24	-0,24	-0,24	-0,16	-0,25	-0,25	-0,02	0,03	0,03	-0,28	-0,16	-0,12	-0,12	-0,11	0,14	0,03	-0,22	-0,29	0,19	-0,26	-0,21	-0,21	-0,05	-0,10	0,00	-0,20	-0,17	-0,12	-0,08	1,00	
Classificação	-0,15	-0,15	-0,15	-0,09	-0,18	-0,18	0,08	0,07	0,12	-0,16	-0,11	-0,01	-0,01	0,00	0,12	-0,01	-0,12	-0,19	0,12	-0,13	-0,10	-0,10	0,01	-0,06	0,05	-0,12	-0,06	-0,01	0,00	0,97	1,00

Quadro 7. Análise de correlação das variáveis de detecção remota ( $p < 0,05$ ). A vermelho estão os valores significativamente relacionados

	NDVI	PVR	PCD	PPR	IPVI	DVI	SGB	RB	NDVIG	NDGRI	NDGBI	NDRBI	I	HUE	S	RPER	GPER	BPER	Área (m)	Perímetro (m)	Raio com base na área (m)	Raio c/ base no perímetro (m)	Rácio dos raios	Circularidade	Compacidade
NDVI	1,00																								
PVR	0,43	1,00																							
PCD	0,99	0,43	1,00																						
PPR	0,12	0,43	0,14	1,00																					
IPVI	1,00	0,43	0,99	0,13	1,00																				
DVI	0,86	0,64	0,85	0,38	0,86	1,00																			
SGB	-0,20	0,54	-0,19	0,85	-0,20	0,22	1,00																		
RB	-0,38	-0,73	-0,36	0,30	-0,38	-0,41	0,09	1,00																	
NDVIG	0,76	-0,26	0,75	-0,18	0,76	0,46	-0,60	0,12	1,00																
NDGRI	0,43	1,00	0,43	0,43	0,43	0,64	0,53	-0,73	-0,26	1,00															
NDGBI	0,12	0,42	0,14	1,00	0,12	0,38	0,85	0,31	-0,17	0,42	1,00														
NDRBI	0,12	0,42	0,14	1,00	0,12	0,38	0,85	0,31	-0,17	0,42	1,00	1,00													
I	-0,65	0,27	-0,66	0,28	-0,65	-0,20	0,73	-0,04	-0,89	0,26	0,28	0,28	1,00												
HUE	0,12	0,17	0,13	0,60	0,12	0,26	0,49	0,28	0,00	0,18	0,63	0,63	0,13	1,00											
S	-0,58	0,36	-0,59	0,09	-0,58	-0,16	0,59	-0,28	-0,88	0,35	0,09	0,09	0,96	0,00	1,00										
RPER	-0,43	-0,95	-0,42	-0,13	-0,43	-0,58	-0,29	0,91	0,22	-0,95	-0,12	-0,12	-0,19	0,02	-0,35	1,00									
GPER	0,39	0,93	0,39	0,72	0,39	0,65	0,74	-0,45	-0,26	0,94	0,71	0,71	0,30	0,37	0,30	-0,78	1,00								
BPER	0,19	0,32	0,18	-0,72	0,19	0,10	-0,48	-0,88	-0,02	0,32	-0,72	-0,72	-0,09	-0,52	0,18	-0,60	-0,03	1,00							
Área (m2)	0,13	-0,11	0,13	-0,09	0,13	-0,11	-0,26	0,03	0,21	-0,10	-0,09	-0,09	-0,38	0,02	-0,38	0,08	-0,11	0,01	1,00						
Perímetro (m)	0,04	-0,10	0,03	-0,15	0,04	-0,19	-0,26	-0,03	0,10	-0,09	-0,15	-0,15	-0,31	-0,07	-0,29	0,04	-0,12	0,08	0,95	1,00					
Raio com base na área (m)	0,10	-0,11	0,11	-0,10	0,10	-0,14	-0,26	0,02	0,18	-0,10	-0,10	-0,10	-0,37	0,00	-0,36	0,08	-0,12	0,02	0,99	0,96	1,00				
Raio com base no perímetro (m)	0,04	-0,10	0,03	-0,15	0,04	-0,19	-0,26	-0,03	0,10	-0,09	-0,15	-0,15	-0,31	-0,07	-0,29	0,04	-0,12	0,08	0,95	1,00	0,96	1,00			
Rácio dos raios	0,10	0,00	0,14	0,18	0,10	0,17	0,13	0,18	0,13	-0,02	0,19	0,19	0,01	0,25	-0,06	0,09	0,06	-0,20	-0,20	-0,47	-0,22	-0,47	1,00		
Circularidade	0,07	-0,01	0,11	0,18	0,07	0,14	0,13	0,19	0,10	-0,03	0,18	0,18	0,02	0,24	-0,04	0,11	0,04	-0,20	-0,21	-0,47	-0,22	-0,47	1,00	1,00	
Compacidade	-0,16	-0,02	-0,20	-0,19	-0,16	-0,23	-0,12	-0,17	-0,18	0,00	-0,20	-0,20	0,03	-0,27	0,10	-0,07	-0,08	0,20	0,19	0,46	0,21	0,46	-0,99	-0,99	1,00

Quadro 8. Análise de correlação entre os dados de campo e dados de detecção remota ( $p < 0,05$ ). A vermelho estão os valores significativamente relacionados

	NDVI	PVR	PCD	PPR	IPVI	DVI	SGB	RB	NDVIG	NDGRI	NDGBI	NDRBI	I	HUE	S	RPER	GPER	BPER	Área (m)	Perímetro (m)	Raio com base na área (m)	Raio c/ base no perímetro (m)	Rácio dos raios	Circularidade	Compacidade
Perímetro altura do peito (m)	-0,10	-0,21	-0,08	-0,08	-0,10	-0,21	-0,16	0,18	0,05	-0,21	-0,08	-0,08	-0,14	0,07	-0,17	0,21	-0,20	-0,08	0,51	0,47	0,55	0,47	0,03	0,02	-0,05
Raio altura do peito (m)	-0,10	-0,21	-0,08	-0,08	-0,10	-0,21	-0,16	0,18	0,05	-0,21	-0,08	-0,08	-0,14	0,07	-0,17	0,21	-0,20	-0,08	0,51	0,47	0,55	0,47	0,03	0,02	-0,05
Diâmetro altura do peito (m)	-0,10	-0,21	-0,08	-0,08	-0,10	-0,21	-0,16	0,18	0,05	-0,21	-0,08	-0,08	-0,14	0,07	-0,17	0,21	-0,20	-0,08	0,51	0,47	0,55	0,47	0,03	0,02	-0,05
Perímetro na base (m)	0,01	-0,03	0,03	-0,02	0,01	-0,05	-0,07	0,02	0,04	-0,02	-0,01	-0,01	-0,12	0,11	-0,13	0,02	-0,02	0,00	0,52	0,51	0,55	0,51	-0,06	-0,07	0,04
Perímetro altura do peito descortiçado (m)	-0,15	-0,16	-0,13	-0,07	-0,15	-0,24	-0,10	0,13	-0,04	-0,16	-0,06	-0,06	-0,07	0,11	-0,09	0,15	-0,15	-0,04	0,45	0,43	0,49	0,43	0,01	0,00	-0,03
Raio altura do peito descortiçado (m)	-0,15	-0,16	-0,13	-0,07	-0,15	-0,24	-0,10	0,13	-0,04	-0,16	-0,06	-0,06	-0,07	0,11	-0,09	0,15	-0,15	-0,04	0,45	0,43	0,49	0,43	0,01	0,00	-0,03
Espessura da cortiça (m)	0,20	-0,31	0,20	-0,09	0,20	0,05	-0,30	0,26	0,44	-0,31	-0,09	-0,09	-0,39	-0,14	-0,43	0,32	-0,27	-0,16	0,42	0,35	0,43	0,35	0,10	0,10	-0,11
Raio 0° da copa (m)	-0,11	-0,22	-0,14	-0,09	-0,11	-0,14	-0,11	0,13	0,04	-0,21	-0,10	-0,10	-0,06	-0,16	-0,09	0,19	-0,20	-0,06	0,35	0,37	0,39	0,37	-0,06	-0,06	0,06
Raio 90° da copa (m)	0,04	-0,29	0,06	0,12	0,04	-0,12	-0,13	0,40	0,25	-0,29	0,13	0,13	-0,34	0,11	-0,44	0,36	-0,18	-0,35	0,44	0,43	0,47	0,43	-0,08	-0,09	0,07
Raio 180° da copa (m)	-0,03	-0,10	-0,05	0,01	-0,04	-0,14	-0,08	0,07	0,02	-0,08	0,02	0,02	-0,13	0,14	-0,15	0,08	-0,05	-0,09	0,50	0,58	0,53	0,58	-0,41	-0,41	0,39
Raio 270° da copa (m)	-0,04	0,14	-0,05	-0,08	-0,05	-0,04	0,02	-0,24	-0,16	0,16	-0,08	-0,08	0,09	0,06	0,14	-0,21	0,10	0,21	0,57	0,60	0,58	0,60	-0,27	-0,28	0,25
Raio médio (m)	-0,06	-0,17	-0,07	-0,02	-0,06	-0,16	-0,11	0,13	0,05	-0,16	-0,02	-0,02	-0,15	0,03	-0,19	0,16	-0,13	-0,10	0,65	0,69	0,69	0,69	-0,27	-0,27	0,25
Perímetro médio (m)	-0,06	-0,17	-0,07	-0,02	-0,06	-0,16	-0,11	0,13	0,05	-0,16	-0,02	-0,02	-0,15	0,03	-0,19	0,16	-0,13	-0,10	0,65	0,69	0,69	0,69	-0,27	-0,27	0,25
Área média (m <sup>2</sup> )	-0,03	-0,17	-0,04	-0,01	-0,04	-0,13	-0,11	0,13	0,07	-0,15	-0,01	-0,01	-0,16	0,05	-0,20	0,16	-0,12	-0,11	0,62	0,66	0,66	0,66	-0,25	-0,26	0,24
Altura fuste (m)	0,02	-0,07	0,01	-0,04	0,03	0,09	0,01	0,04	0,07	-0,07	-0,04	-0,04	0,08	-0,06	0,08	0,06	-0,07	-0,02	-0,40	-0,38	-0,45	-0,38	-0,12	-0,12	0,12
Altura bifurcação (m)	-0,11	-0,11	-0,12	-0,15	-0,10	-0,06	-0,05	0,00	-0,04	-0,11	-0,15	-0,15	0,11	-0,08	0,14	0,07	-0,14	0,06	-0,33	-0,23	-0,36	-0,23	-0,31	-0,30	0,33
Nº Pernadas	-0,02	-0,14	0,00	-0,20	-0,02	-0,13	-0,24	0,00	0,08	-0,13	-0,19	-0,19	-0,17	-0,07	-0,14	0,08	-0,18	0,10	0,42	0,45	0,44	0,45	-0,21	-0,21	0,21
Nº Pernadas descortiçadas	-0,06	-0,29	-0,05	0,00	-0,06	-0,18	-0,14	0,30	0,14	-0,28	0,02	0,02	-0,21	0,23	-0,27	0,31	-0,21	-0,23	0,53	0,52	0,55	0,52	-0,11	-0,12	0,09
Altura de descortiçamento no fuste (m)	-0,02	0,31	-0,03	0,02	-0,02	0,15	0,21	-0,31	-0,24	0,31	0,01	0,01	0,31	-0,26	0,37	-0,33	0,24	0,22	-0,51	-0,47	-0,53	-0,47	0,01	0,03	0,01
Comp. descortiçamento nas Pernadas (m)	0,09	-0,31	0,11	-0,19	0,09	-0,16	-0,38	0,18	0,32	-0,30	-0,17	-0,17	-0,44	0,20	-0,46	0,27	-0,30	-0,05	0,65	0,59	0,65	0,59	-0,03	-0,04	0,00
Altura descortiçamento vertical (m)	0,08	-0,30	0,08	-0,26	0,08	-0,15	-0,40	0,10	0,29	-0,29	-0,24	-0,24	-0,39	0,17	-0,39	0,22	-0,31	0,03	0,63	0,60	0,63	0,60	-0,14	-0,16	0,11
Superfície descortiçada (m <sup>2</sup> )	0,04	-0,29	0,05	-0,20	0,04	-0,16	-0,33	0,15	0,25	-0,28	-0,18	-0,18	-0,34	0,15	-0,36	0,24	-0,29	-0,03	0,61	0,57	0,62	0,57	-0,07	-0,08	0,04
Altura total (m)	0,24	-0,11	0,23	-0,19	0,23	0,07	-0,31	-0,04	0,32	-0,10	-0,18	-0,18	-0,35	0,07	-0,31	0,05	-0,14	0,10	0,28	0,33	0,26	0,33	-0,44	-0,46	0,39
Altura na base da canópis (m)	0,06	-0,02	0,05	-0,03	0,06	0,04	-0,07	-0,01	0,08	-0,01	-0,02	-0,02	-0,06	0,16	-0,05	0,00	-0,02	0,01	0,14	0,09	0,08	0,09	-0,12	-0,13	0,09
Altura da canópis (m)	0,24	-0,11	0,24	-0,20	0,24	0,06	-0,32	-0,04	0,33	-0,11	-0,19	-0,19	-0,37	-0,02	-0,33	0,06	-0,16	0,11	0,24	0,33	0,25	0,33	-0,43	-0,45	0,40
Perímetro das Pernadas a descortiçar (m)	0,00	-0,31	0,02	-0,03	0,00	-0,17	-0,21	0,30	0,23	-0,30	-0,01	-0,01	-0,31	0,24	-0,37	0,32	-0,24	-0,21	0,59	0,53	0,61	0,53	0,00	-0,02	-0,03
Produtividade (kg/árvore)	0,09	-0,29	0,10	-0,16	0,09	-0,14	-0,35	0,18	0,31	-0,29	-0,15	-0,15	-0,42	0,13	-0,44	0,26	-0,28	-0,07	0,61	0,56	0,62	0,56	-0,05	-0,06	0,03
Espessura cozida (mm)	0,15	-0,32	0,16	-0,12	0,16	-0,03	-0,32	0,25	0,40	-0,32	-0,11	-0,11	-0,40	-0,01	-0,43	0,32	-0,29	-0,14	0,37	0,32	0,38	0,32	0,01	0,00	-0,03
Nº linhas (1linha=2,256mm)	0,19	-0,26	0,20	-0,09	0,19	0,04	-0,27	0,20	0,39	-0,26	-0,09	-0,09	-0,34	-0,02	-0,37	0,25	-0,23	-0,11	0,27	0,22	0,27	0,22	0,04	0,03	-0,05
Classe real	0,39	0,47	0,39	0,32	0,39	0,45	0,26	-0,26	0,08	0,47	0,31	0,31	-0,05	0,11	-0,04	-0,40	0,48	0,03	-0,10	-0,12	-0,11	-0,12	-0,01	-0,03	-0,02
Classificação	0,45	0,41	0,44	0,26	0,45	0,46	0,15	-0,24	0,19	0,40	0,24	0,24	-0,16	0,03	-0,14	-0,35	0,41	0,05	0,02	-0,02	0,00	-0,02	-0,05	-0,07	0,00

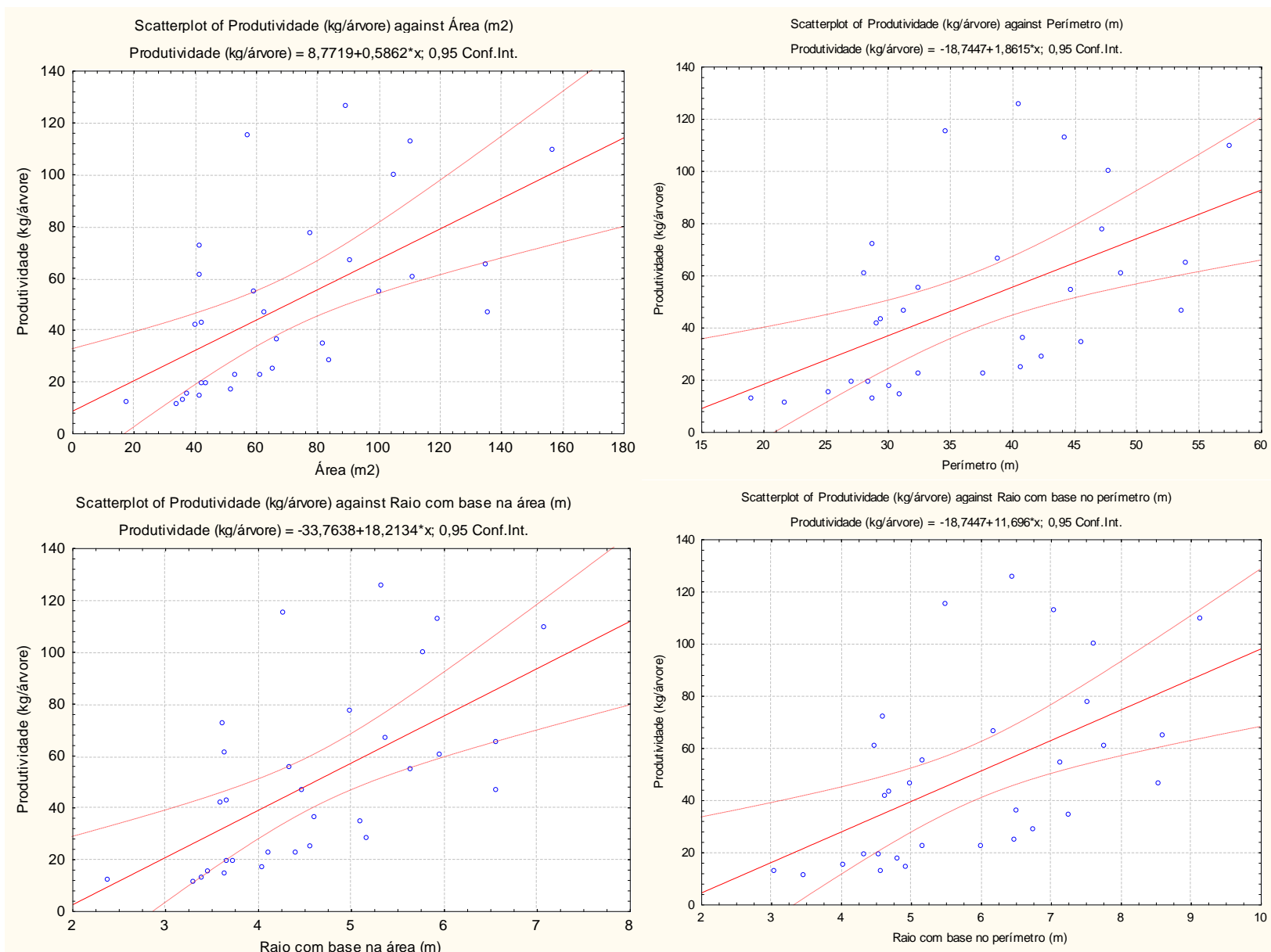


Figura 31. Correlação de Produtividade (kg/árvore) com Área, Raio, Raio com base na área e Raio com base no perímetro

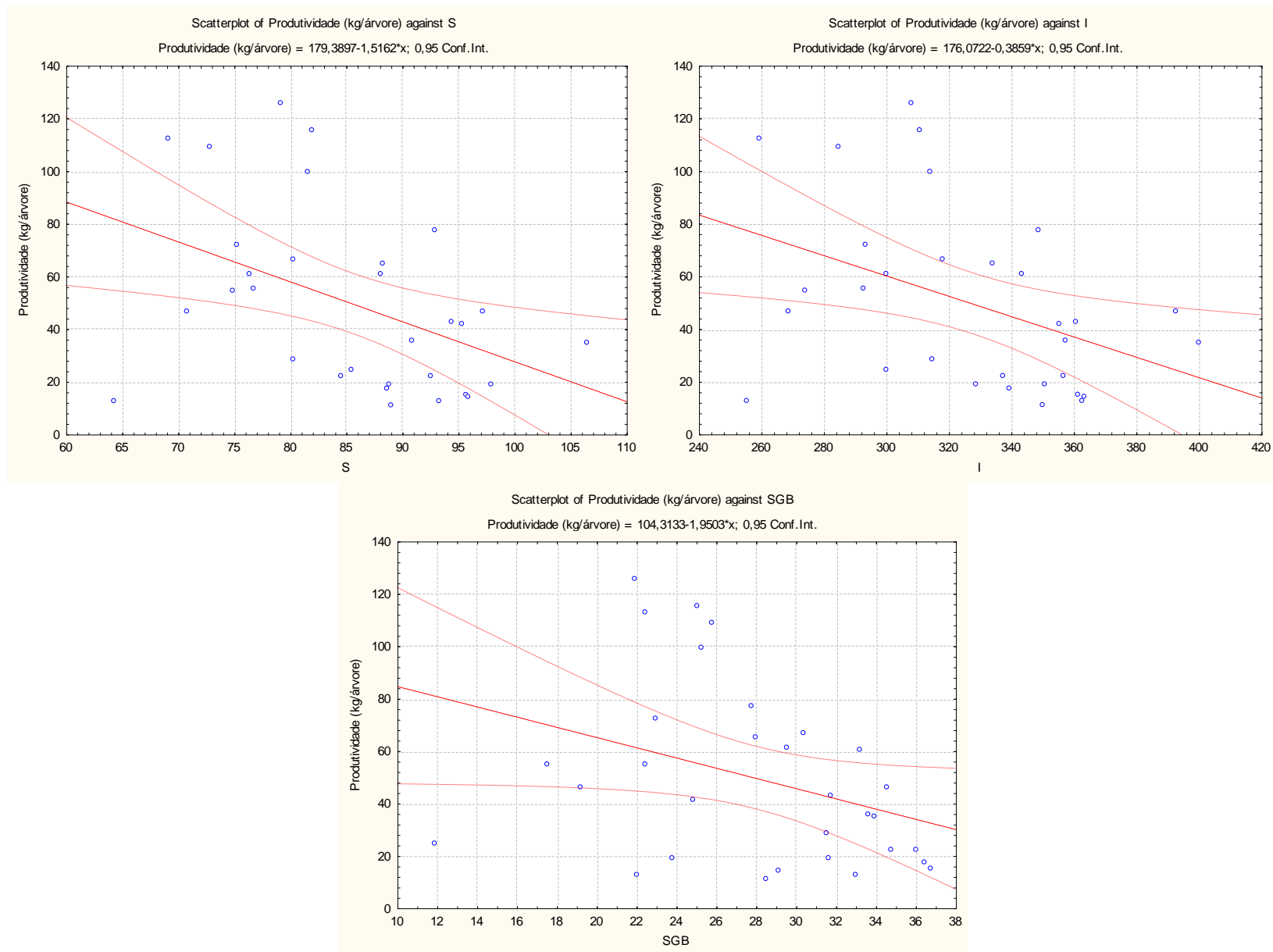


Figura 32. Correlação de Produtividade (kg/árvore) com S, I e SGB

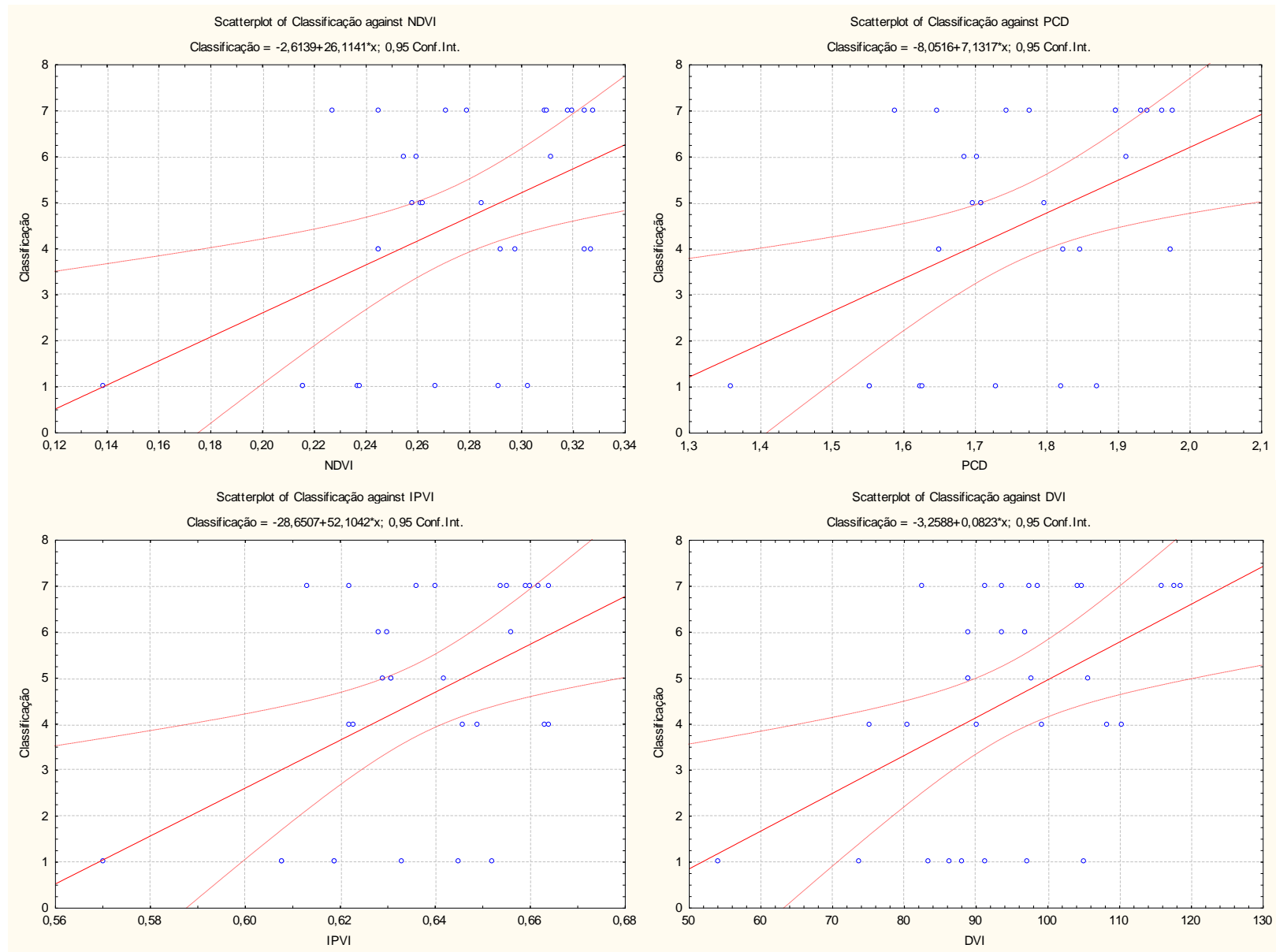


Figura 33. Correlação de Classificação com NDVI, PCD, IPVI e DVI

### **4.3.2. Modelação**

Os modelos para as variáveis dependentes, produtividade (kg/árvore) e espessura tinham ambos como base 25 variáveis de detecção remota. Para cada variável dependente foram criados dois modelos, em que para o primeiro foram excluídas treze variáveis no processo pela existência de grande correlação entre as variáveis, utilizando-se apenas uma das variáveis correlacionadas, na tentativa de melhorar o  $R^2$  ajustado. As variáveis excluídas são o PCD, o IPVI, o NDGRI, o NDGBI, o NDRBI, o HUE, o S, o RPER, o perímetro, o raio com base na área, o raio com base no perímetro, a circularidade e a compacidade. Estas variáveis foram excluídas da construção do modelo por existir redundância, uma vez que, como se verifica no quadro 7 estas variáveis são fortemente relacionadas com as variáveis seleccionadas para a construção dos modelos. No segundo modelo, uma vez que a selecção pode eliminar variáveis mais favoráveis ao modelo e que a utilização de todas as variáveis existentes não representa uma diminuição na eficiência do trabalho, a construção será feita com a introdução de todas as variáveis, à partida.

#### **4.3.2.1. Produtividade**

Neste capítulo da modelação foram testados tanto os modelos ajustados para o estudo como os modelos propostos por diversos autores, referentes ao capítulo 3.4.

Os modelos ajustados encontrados (quadro 9) são relativos: 1) à utilização apenas das variáveis que não apresentem forte correlação entre elas (quadro 7); 2) à utilização de todas as variáveis existentes para a sua construção, sendo as variáveis eliminadas para a obtenção do melhor modelo. Os modelos foram escolhidos como sendo os melhores através do  $R^2$  ajustado. A análise aos modelos de outros autores foi efectuada com os parâmetros estatísticos anteriormente referidos, para averiguação de qual dos modelos propostos, que apenas utilizam dados de campo, melhor descreve a realidade da produtividade (kg/árvore) do montado de sobreiro em estudo.

Quadro 9. Modelos ajustados para a variável dependente Produtividade com base em dados obtidos por detecção remota.  
Com coeficientes de regressão estandardizados

Variável dependente	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajustado	Nº de variáveis	NDVI	PVR	PCD	PPR	IPVI	DVI	SGB	RB	NDVIG	NDGRI	NDGBI	NDRBI	I	HUE	S	RPER	GPGR	BPER	Área (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Raio com base na área (m)	Raio com base no perímetro (m)	Rácio dos raios	Circularidade	Compacidade
1) Produtividade	0,48	0,40	4				-5,80													3,82	-4,12	0,51						
2) Produtividade	0,75	0,58	12		7,15	-3,98	-5,85			-8,41		4,39		6,60		22,24		-17,79					0,61			114,36	-77,12	37,68

Quadro 10. Análise dos modelos propostos por outros autores, com base em dados de campo  
A negrito encontra-se o melhor modelo

	modelo 1	modelo 2.1	modelo 2.2	modelo 2.3	modelo 3	modelo 4	modelo 5.1	modelo 5.2	modelo 5.3	modelo 5.4	modelo 6.1	modelo 6.2	modelo 6.3	modelo 7.1	modelo 7.2	modelo 7.3	modelo 7.4	modelo 8	modelo 9
Declive	0,54	0,57	0,61	0,59	0,80	0,34	0,75	0,75	0,59	<b>0,86</b>	0,64	0,79	1,04	0,64	0,70	0,36	0,70	0,47	0,45
R <sup>2</sup>	0,87	0,67	0,66	0,66	0,81	0,80	0,87	0,87	0,87	<b>0,87</b>	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,65	0,87
Ordenada na origem	15,43	35,75	36,22	36,79	16,47	31,63	13,87	15,37	9,22	<b>7,99</b>	16,28	16,00	13,96	15,12	19,04	16,15	19,04	19,69	13,02
RMSE	18,77	24,33	25,83	25,76	16,08	22,98	12,97	13,20	19,51	<b>12,19</b>	14,67	13,69	20,74	15,00	14,18	26,93	14,18	22,28	24,06
b	-7,74	14,34	16,65	16,44	6,72	-1,35	1,29	2,79	-11,38	<b>1,15</b>	-1,45	5,72	15,73	-2,91	4,17	-15,63	4,17	-6,64	-14,32
RPD	1,04	0,98	0,99	0,97	1,90	0,56	2,11	2,07	1,10	<b>2,59</b>	1,61	2,12	1,83	1,56	1,81	0,49	1,81	0,90	0,69
NSE	0,69	0,48	0,41	0,41	0,77	0,53	0,85	0,85	0,66	<b>0,87</b>	0,81	0,83	0,62	0,80	0,82	0,36	0,82	0,56	0,49
PBIAS	15,53	-28,76	-33,40	-32,98	-13,48	2,72	-2,60	-5,61	22,83	<b>-2,30</b>	2,91	-11,47	-31,55	5,83	-8,37	31,36	-8,37	13,32	28,72



Observando o quadro 10, verifica-se que na sua generalidade, o melhor modelo para o montado em estudo é o modelo 5.4, por apresentar as seguintes características:

- apresenta um declive de recta de regressão de 0,86, sendo apenas ultrapassado neste parâmetro pelo modelo 6.3;
- possui um  $R^2$  de 0,87, idêntico ao de muitos outros modelos propostos, mas ainda assim com o valor mais elevado, demonstrando uma boa linearidade do modelo;
- a sua ordenada na origem é a mais próxima de 0, com o valor de 7,99;
- apresenta um RMSE de 12,19, o valor mais baixo para este parâmetro, demonstrando ter o menor erro entre todos os modelos propostos;
- o seu enviesamento é 1,15, representando o erro sistemático, entre os valores observados e estimados, mais reduzido;
- o seu RPD é igual a 2,59, sendo assim o único passível de ser considerado de boa precisão de estimação;
- possui uma eficiência de modelação elevada (NSE=0,87), tendo assim o melhor ajustamento;
- e por fim o seu PBIAS é o mais próximo de 0 (PBIAS=-2,30), subestimando o valor real.

Após análise aos modelos que utilizam apenas dados recolhidos no campo, e posterior selecção, foram construídos os modelos que melhor descrevem a mesma realidade, mas apenas com dados obtidos por detecção remota, isto é através de radiação espectral e geometria das árvores. Desta forma os modelos de origem destinta podem ser comparados na sua fiabilidade e melhor representação da realidade.

Para esta modelação (quadro 10) foram utilizados os 25 índices (índices de vegetação e índices geométricos) referidos nos capítulos 3.5 e 3.6. A análise ao modelo de produtividade que apenas utiliza dados de detecção remota será feita em comparação com o modelo em cima descrito e analisado, isto é, o modelo 5.4 onde estão introduzidas apenas variáveis de dados de campo.

O modelo construído com variáveis obtidas por detecção remota que será utilizado para comparação é o segundo, por apresentar melhor  $R^2$  ajustado (0,58). Uma vez que o  $R^2$  ajustado penaliza os modelos pelo inclusão de variáveis independentes pouco descritivas, e o segundo modelo ainda que contenha um maior número de variáveis independentes apresenta um valor para este parâmetro estatístico superior ao primeiro modelo.

**Quadro 11. Análise comparativa entre os melhores modelos para a Produtividade, com base em dados de detecção remota e dados de inventário recolhidos no campo, respectivamente**

	Modelo 2) Produtividade	Modelo 5.4
<b>Declive</b>	0,75	0,86
<b>R<sup>2</sup></b>	0,75	0,87
<b>Ordenada na origem</b>	12,71	7,99
<b>RMSE</b>	16,96	12,19
<b>b</b>	0,00	1,15
<b>RDP</b>	1,74	2,59
<b>ME</b>	0,75	0,87
<b>PBIAS</b>	0,00	-2,30

Em análise ao quadro 11, observa-se que de forma generalizada o modelo 5.4 representa melhor a produtividade do montado de sobreiro em estudo, mas ainda assim a diferença entre os dois modelos referentes à produtividade não é muito distinta. As características do modelo de produtividade de detecção remota e diferenças em relação ao modelo 5.4 são as seguintes:

- apesar de o modelo de produtividade de detecção remota possuir um  $R^2$  mais baixo ( $R^2=0,75$ ), a diferença entre os dois modelos é pequena, possuindo também desta forma um valor elevado para este parâmetro estatístico, sucedendo-se o mesmo com o declive;
- a ordenada na origem é igual a 12,71, o que nos indica que o modelo sobrestima à partida em 12,71kg, mais 4,72kg em relação ao modelo 5.4;
- o seu RMSE é de 16,96;
- o enviesamento deste modelo é nulo, que demonstra por este parâmetro ser um modelo de fiabilidade, valor este mais baixo que o do modelo 5.4;
- o RDP situa-se no intervalo em que o modelo discrimina valores elevados e valores baixos, com um valor de 1,74;
- a sua eficiência de modelação apresenta um valor inferior ao do modelo 5.4, com valor  $ME=0,75$ ;
- tal como o enviesamento, o PBIAS apresenta valor nulo, valor este que descreve a perfeição do modelo, melhor que o valor verificado para o modelo 5.4.

Tendo isto em conta, apesar de o modelo 5.4 apresentar na sua generalidade, melhores valores para os parâmetros estatísticos, o modelo de produtividade de detecção remota apresenta bons resultados nesta análise, superando mesmo em alguns dos parâmetros, como são os casos do enviesamento (b) e do PBIAS. De referir ainda que mesmo nos parâmetros em que este modelo é superado pelo modelo 5.4, a diferença entre eles não é muito significativa, tornando os dois modelos pouco distintos na sua fiabilidade e capacidade de descrever a realidade do sistema.

#### 4.3.2.2. Classificação

Relativamente à classificação da cortiça, foram encontrados os modelos (de detecção remota) que melhor poderão descrever a sua variabilidade no montado. Para a classificação foram encontrados, tal como se sucedeu com a produtividade, os modelos ajustados (quadro 12) sendo relativos a: 1) à utilização apenas das variáveis que não apresentem forte correlação entre elas (quadro 7); 2) à utilização de todas as variáveis existentes para a sua construção, sendo as variáveis eliminadas para a obtenção do melhor modelo. Os modelos foram escolhidos como sendo os melhores através do  $R^2$  ajustado. Por inexistência, ou falta de publicações, de modelos para a classificação da cortiça, a sua análise só será feita com os parâmetros estatísticos utilizados para o mesmo efeito na produtividade. Para a classificação da cortiça, foram usados os mesmo 25 índices, como variáveis do modelo.

Posto isto e analisando o quadro 13, o modelo caracteriza-se da seguinte forma:

- possui um declive da recta de regressão de 0,67;
- o seu  $R^2$  é igual a 0,67, sendo considerado um valor significativo para a descrição de um modelo, mostrando que consegue estimar 67% dos valores observados;
- a sua ordenada na origem é de 1,49;
- possui uma raiz de erro médio quadrático igual a 1,34;
- o seu RPD por ser igual a 1,77 indica que o modelo discrimina valores elevados e valores baixos;
- tem uma boa eficiência de modelação,  $ME=0,67$ , uma vez que a unidade nos indica a perfeição de eficiência de modelação;
- tal como se verificou com o modelo de produtividade com base em dados de detecção remota, este modelo para a classificação com dados com a mesma proveniência, possui um PBIAS nulo, que indica mais uma vez a perfeição de simulação da realidade por parte do modelo.

Quadro 13. Modelos ajustados para a variável dependente Classificação com base em dados obtidos por detecção remota.  
Com coeficientes de regressão estandardizados

	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado	Nº de variáveis	NDVI	PVR	PCD	PPR	IPVI	DVI	SGB	RB	NDVIG	NDGRI	NDGBI	NDRBI	I	S	RPER	GPÉR	BPER	Área (m2)	Perímetro (m)	Raio com base na área (m)	Raio com base no perímetro (m)	Rácio dos raios	Circularidade	Compacidade
1) Classificação	0,41	0,32	4							5,78						-3,35			-2,74	2,41							
2) Classificação	0,67	0,50	10	1,87		-1,31				6,58				-5,07			-3,12				1,32	-13,74	11,16		-15,69	11,88	

Quadro 12. Análise do modelo para a classificação da qualidade de cortiça com base em dados de detecção remota

	Modelo Classificação (Detecção remota)
Declive	0,67
R2	0,67
Ordenada na origem	1,49
RMSE	1,34
b	0,00
RDP	1,77
ME	0,67
PBIAS	0,00

## 5. CONCLUSÕES

O primeiro objectivo da dissertação era avaliar a variabilidade espacial da produtividade e classificação da cortiça num montado de sobro. Feita a análise, é possível concluir que as duas variáveis em estudo se apresentam com elevada variabilidade espacial no montado de sobro. Posto isto, a grande variabilidade espacial encontrada no sistema agro-silvo-pastoril, denominado montado de sobro, torna relevante e de grande interesse para o agricultor o mapeamento e a compreensão da distribuição destas variáveis chave para o sistema.

O segundo objectivo foi testar a performance dos índices adquiridos através de tecnologias de detecção remota, para o caso, a utilização de imagens de alta resolução e radiação electromagnética, na gestão do montado. E neste estudo ficou realçada a importância desta tecnologia pelo seu elevado poder de caracterização e estimação do sistema que caracteriza a variabilidade das variáveis estudadas, quando comparada com métodos de recolha de dados que obrigam a deslocação de um técnico ao campo para recolha de informação.

Com este estudo foi possível concluir que existe uma grande relação da produtividade com os índices geométricos das copas das árvores, e ainda uma relação significativa com a variação de absorção de radiação das bandas do verde e vermelho. A conjugação destes dois conhecimentos fornecem informação passível de ser utilizada na construção de um modelo capaz de explicar 58% ( $R^2$  ajustado) da variabilidade existente num montado de sobro.

A classificação da cortiça (referente à qualidade), não menos importante para o mercado que a sua produtividade, revelou ser também uma variável possível de se modelar com fiabilidade, produzindo um modelo que explica 50% ( $R^2$  ajustado) da sua variabilidade com base nos índices de vegetação e geométricos calculados com dados obtidos, mais uma vez, através de fotografias aéreas. Estes resultados levam a concluir que a utilização desta tecnologia de agricultura de precisão é viável, fiável e útil na gestão do montado de sobro.

Quando se fala em gestão agrícola, os custos de uma operação são sempre factores de peso e o levantamento de dados de campo não são excepção. Desta forma, para uma previsão de produtividade e qualidade da cortiça com base em modelos, a utilização da detecção remota revela-se uma alternativa perfeitamente capaz e mais barata que a deslocação de um técnico ao local. Outro ponto em que a detecção remota se revela mais favorável passa pela eliminação da necessidade de se fazer amostragem, possibilitando recolher a informação completa do coberto vegetal em estudo.

A detecção remota começa a ser cada vez mais uma ferramenta importante na agricultura, e com este trabalho, pode-se concluir que o montado de sobro não é excepção, tornando-se possível com isto que se comece a segmentar o descortiçamento, promovendo uma colheita selectiva da cortiça, e criando logo no campo lotes mais homogéneos. Outra possibilidade que esta tecnologia traz para a gestão do montado passa pelo grande auxílio à tomada de decisão para o descortiçamento a 9 ou 10 anos, permitindo ao agricultor escolher se quer deixar a cortiça mais um ano na árvore consoante a qualidade de cortiça e produtividade que mais o favoreçam.

Apesar das grandes vantagens que se podem adquirir com agricultura de precisão no montado de sobro, este sistema apresenta dificuldades à tecnologia, pela sua densidade de plantação, eliminando à partida o uso de imagens de baixa resolução, devido à sua fraca cobertura do solo. Outra dificuldade que este sistema de montado de sobro apresenta é o seu longo ciclo produtivo e a sua heterogeneidade genética presente numa só parcela, que promove uma estratificação do desenvolvimento na parcela, fechando a janela de oportunidade para a recolha dos dados.

Este estudo apesar da utilização exclusiva dos índices de vegetação mais baratos e fáceis de adquirir, utilizando apenas 4 bandas, foi possível encontrar boas relações e uma boa modelação do sistema. Futuramente, com mais bandas e consequentemente diferentes índices de vegetação será possível aproximar a modelação ainda mais à realidade dos sistemas.

## 6. BIBLIOGRAFIA

Almeida, A., Tomé, M., 2008. Sistema para a Predição do Crescimento de Cortiça. *Silva Lusitana* 16: 83 - 95.

Alves, A. M., Pereira, J. S., Correia, A. V., 2012. *Silvicultura. A gestão dos ecossistemas florestais*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 597pp.

APCOR, s/data. O Montado. APCOR. <http://www.apcor.pt/artigo/montado.htm>. Acesso em 06/07/2013

Aronson, J., Pereira, J. S., Pausas, J. G., 2009. *Cork Oak Woodlands on the Edge. Ecology, adaptative, management, and restoration*. Island Press, Washington. 315pp.

Autoridade Nacional Florestal (AFN), 2010. 5º Inventário Florestal Nacional. Apresentação do relatório final. Ministério da Agricultura, Desenvolvimento Rural e das Pescas. 14pp

Azevedo, A. L., 1971. A classificação climática de Köppen. *Agrossilva*, Nova Lisboa. 55-60.

Bernardi, J., Landim, P., 2002. Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) na coleta de dados. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 10, 31 pp.

Barton, C., 2012. Advances in Remote Sensing of Plant Stress. *Plant and Soil*, 354: 41-44.

Braga, R., 2009. *Viticultura de Precisão*. Associação de Jovens Agricultores de Portugal

Braga, R., Pinto, P. A., 2011. *Agricultura de Precisão, adopção e principais obstáculos*. Agrotec. Dezembro: 84-89.

Bramley, R. G. V., Hamilton, R. P., 2004. Understanding variability in winegrape production systems. 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*. 10: 32–45.

Brevik, E., Fenton, T., Lazari, A., 2006. Soil electrical conductivity as a function of soil water content and implications for soil mapping. *Precision Agriculture*, 7: 393-404.

Burrough, P. A., 1986. *Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment*. Clarendon Press, Oxford. Citado por Van Deursen W.P.A.

Burrough P. A. e McDonnell R. A., 1998. *Principles of Geographical Information Systems* (2nd edition). Oxford University Press, Oxford.

- Cardoso, J. V., 1965. Os Solos de Portugal, Sua classificação, Caracterização e Génese, A Sul do Rio Tejo. Direcção-Geral dos Serviços Agrícolas. Lisboa, 310pp.
- Chuvieco, E., Huete, A., 2010. Fundamentals of Satellite Remote Sensing. Taylor and Francis Group, Boca Raton, 436pp.
- Cracknell, A., Hayes, L., 2007. Introduction to Remote Sensing, Second Edition. Taylor and Francis Group, Boca Raton, 335pp.
- Crespo, D. G., Barradas A. M. C., Santos, P. V., Carneiro, J. P. G., 2004. Sustainable improvement of Mediterranean pastures. Grassland Science in Europe, 9: 849-842.
- Coelho, J. C., Silva, L. M., Tristany, M., Neto, M. C., Pinto, P. A., 2004. Agricultura de Precisão. Prefácio, Lisboa, 106pp.
- Coelho, J. C., Silva, J. M., 2009. Agricultura de Precisão. Associação de Jovens Agricultores de Portugal, Lisboa, 141pp.
- Correia, O. A., Oliveira, G., Martins-Loução, A., Catarino, F. M., 1990. Aspectos fisiológicos o descortiçamento em *Quercus suber*. 1º Congresso Ibérico de Ciências Horticolas, 3: 469-475.
- Costa, A., 1992. Modelos de previsão de produção de cortiça. 2º encontro dos montados de sobro e azinho. Évora, 150-159.
- Costa, A., 1997. Sobreiro. Caracterização do crescimento e avaliação da produção de cortiça. Tese de Mestrado. Instituto Superior de Agronomia.
- Costa, A., Pereira, H., 2007a. A silvicultura do sobreiro. In Os Montados. Muito para além das árvores, J. S. Silva (ed.), Fundação Luso-Americana. Lisboa, 39-58.
- Costa, A., Pereira, H., 2007b. Montados e sobreirais: uma espécie, duas perspectivas. In Os Montados. Muito para além das árvores, J. S. Silva (ed.), Fundação Luso-Americana, Lisboa, 39-58.
- Costa, A., Pereira, H., Oliveira, A., 2002. Influence of climate on the seasonality of radial growth in cork oak during a cork production cycle. Annals of Forest Science, 9: 429-437.
- Costa, A., Pereira, H., Oliveira, A., 2003. Variability of radial growth in cork oak adult trees under cork production. Forest Ecology and Management, 175: 239-246.



Dias, S. D., 2009. Segmentação da vindima com base na observação de imagens multiespectrais aéreas. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.

Ferreira, C., Lima, C., Cavalcanti, L., Santos, A., 2010. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do açude cachoeira, no município de Serra Talhada- PE, Brasil. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física, Universidade de Coimbra.

Ferreira, M. C., Oliveira A. M. C., 1991. Modelling cork oak production in Portugal. *Agroforestry systems*, 16: 41-54.

Filho, A. C., Storck, L., Bartz, H. R., 1996. Estatística dos resultados das análises de laboratório de solo. *Ciência Rural*, 26pp.

Fiorillo, E., Crisci, A., De Filippis, T., Di Gennaro, S. F., Di Blasi, S., Matese, A., Primicerio, J., Vaccari, F. P., Genesio, L., 2012. Airborne high-resolution images for grapes classification: changes in correlation between technological and late maturity in a Sangiovese vineyard in central Italy. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18: 80-90p.

Fonseca, A. D., Fernandes, J. C., 2004. Detecção Remota. *Radiação Electromagnética, Sensores Orbitais, Processamento de Imagens e Aplicações*. Lidel, Lisboa, 224pp.

Fortes, M. A., Rosa, M. E., Pereira, H., 2004. *A Cortiça*. IST Press, Lisboa, 259pp.

Fulton, J., Brodbeck, C., Winstead, A., 2009. Overview of variable-rate Technology. *Alabama Cooperative Extension System*, 4pp.

Furlaneto, F., Manzano, L., 2010. Agricultura de Precisão e rastreabilidade de produtos agrícolas. [http://www.infobibos.com/Artigos/2010\\_2/AgriculturaPrecisao/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2010_2/AgriculturaPrecisao/Index.htm). Acesso em 04/12/2013.

Gallaun, H., Zanchi, G., Nabuurs, G., Hengeveld, G., Schardt, M., Verkerk, P., 2010. EU-wide maps of growing stock and above-ground biomass in forests based on remote sensing and field measurements. *Forest Ecology and Management*, 260: 252-261.

Godinho, J. M., Tomé, M., 2002. Protocolo de instalação e medição de parcelas em povoamentos juvenis de sobreiros. *Grupo de Inventariação e Modelação de Recursos Florestais - ISA/UTL*, 15pp.

Gomes, A. A., Amorin, I. E., Bernardo, A., 1990. Análise comparativa da produção em peso de cortiça em três unidades-solo, na mata de Valverde-Grândola. II Congresso Florestal Nacional. Sociedade Portuguesa de Ciências Florestais. Porto, 350-359.

Gomez, B., Jones III, J. P., 2010. Research Methods in Geography. Wiley-Blackwell, 480pp.

Gonçalves, C., 2012. Cortiça 2012. Apcor, 75pp.

Gunther, R., 2005. Searching for California's Illicit crop: *Cannabis sativa*. <http://academic.emporio.edu/aberjame/student/gunther3/illicitdrugs.html>. Acesso em 11/04/2013.

Haboudane, D., Miller, J. R., Pattey, E., Zarco-Tejada, P. J., and Strachan, I. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in the context of precision agriculture. Remote Sensing of Environment, 90: 337-352.

Hall, A., Lamb, D.W., Holzapfel, B., Louis, J. (Sem data). Optical remote sensing applications in viticulture - a review. <http://csusap.csu.edu.au/~jlouis/research/papers/Optical%20remote%20sensing.pdf>. 34pp.

Hall, F., Hilker, T., Coops, N., Lyapustin, A., Huemmrich, K., Middleton, E., Margolis, H., Drolet, G., Black, T., 2008. Multi-angle remote sensing of forest light use efficiency by observing PRI variation with canopy shadow fraction. Remote Sensing of Environment, 112: 3201-3211.

Han, S., Hummel, J.W., Goering, C.E., Cahn, M.D., 1994. Cell size for site-specific crop management. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 37: 19-26. Citado por Stabile, M e Balastreire, L. 2006.

Huete, A. R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25: 295-309p.

Ingram, J., Dawson, T., Whittaker, R., 2005. Mapping tropical forest structure in southeastern Madagascar using remote sensing and artificial neural networks. Remote Sensing of Environment; 94: 491-507.

INE - Instituto Nacional de Estatística, 2013. Estatísticas Agrícolas de 2012. <http://www.ine.pt/>. Acesso em 08/09/2013

Iverson, L., Graham, R., Cook, E., 1989. Applications of satellite remote sensing to forested ecosystems. Landscape Ecology, 3: 131-143.

- Jackson, R.D., Huete, A.R., 1991. Interpreting vegetation indices. *Prev. Vet. Med*, 11: 185-200.
- Jones, D., Barnes, E. M. 2000. Fuzzy composite programming to combine remote sensing and crop models for decision support in precision crop management. *Agricultural Systems*, 65: 137–158.
- Kimball, J., McDonald, K., Running, S., Frolking, S., 2004. Satellite radar remote sensing of seasonal growing seasons for boreal and subalpine evergreen forests. *Remote Sensing of Environment*; 90: 243-258.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., 1994. Remote sensing and image interpretation. Wiley & Sons, 750pp.
- Lopez, C., Moreno, M. Estimación de la producción de corcho en piey análisis de su calidad en Sierra Morena Córdoba. *Tecnología e Industrialización de los Productos Forestales*.
- Martinez-Casasnovas, J. A., Agelet-Fernandez, J., Arno, J., Ramos, M. C., 2012. Analysis of vineyard differential management zones and relation to vine development, grape maturity and quality. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 10: nº2.
- Mateluna, P., Ramírez, R., Opazo, C., Farias, S., 2009. Alcance de la agricultura de precisión en Chile: estado del arte, ámbito de aplicación y perspectivas. *Gobierno de Chile, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias*; 112pp.
- McCormick, S., Jordan, C., Bailey, J., 2009. Within and between-field spatial variation in soil phosphorus in permanent grassland. *Precision Agriculture*; 10: 262–276.
- Montero, G., Cañellas, I., 1999. Manual de reforestación y cultivo de Alcornoque (*Quercus suber* L.). Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, 103 pp.
- Montero, G., López, E., 2008. Silvicultura de *Quercus Suber* L.. In: Alves, A. M., Pereira, J. S., Correia, A. V., 2012. Silvicultura. A gestão dos ecossistemas florestais. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 597pp.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., Veith, T. L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic qualification of accuracy in watershed simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50: 885-900.
- Nandy, S., Kushwaha, S., Dadhwal, V., 2011. Forest degradation assessment in the upper catchment of the river Tons using remote sensing and GIS. *Ecological Indicators*, 11: 509-513.

Natividade, J.V., 1950. Subericultura. Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas. Lisboa, 387 pp.

Oliveira, G., Martins-Loução, M. A., Correia, O., 2002. The relative importance of cork harvesting and climate for stem radial growth of *Quercus suber* L. *Annales of Forest Sciences*, 59: 439-443.

Oliveira, G., Costa, A., 2012. how resilient is *Quercus suber* L. to cork harvesting? A review and identification of knowledge gaps. *Forest Ecology and Management*, 270: 257-272.

Olsson, P., Jönsson, A., Eklundh, L., 2012. A new invasive insect in Sweden - *Physokermes inopinatus*: Tracing forest damage with satellite based remote sensing. *Forest Ecology and Management*, 285: 29-37.

Pattenau, G., Milne, R., Dawson, T., 2005. Synthesis of remote sensing approaches for forest carbon estimation: reporting to the Kyoto Protocol. *Environmental Science & Policy*, 8: 161-178.

Pelletiera, G., Upadhyayab, S. K., 1999. Development of a tomato load/yield monitor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 23: 103–117.

Pereira, H., 2007. Cork: biology, production and uses. Elsevier, Lisboa, 336 pp.

Pinho, J., 2010. 5º Inventário Florestal Nacional. Direcção Nacional de Gestão Nacional

Proffitt, T., Pearse, B., 2004. Adding value to the wine business precisely: using precision viticulture technology in Margaret River. *The Australian and New Zealand Grappegrower and Winemaker*. December: 41-44p.

Qi J., Chehbouni A., Huete A.R., Kerr Y.H., 1994. Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI). *Remote Sens Environ*, 48:119-126.

Ribeiro, N. A., 1990. Comparação de métodos de amostragem para a avaliação do potencial produtivo dos montados de sobro da Celbi. Relatório final de estágio de licenciatura em engenharia florestal. Universidade Técnica do Alto Douro.

Ribeiro, N. A., 1992. Caracterização do potencial produtivo de um área de sobro na região de Coruche. 2º encontro dos montados de sobro e azinho. Évora, 134-149.

Ribeiro, J., 2007. A Detecção Remota no Inventário Florestal. Análise das Potencialidades da Utilização das Imagens e Satélite. Dissertação de Mestrado, ISEGI-UNL, Lisboa, 138pp.

Robert, P. C, 2002. Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management. *Plant and Soil*, 247: 143-149.

Sabins, F., 1986. *Remote Sensing. Principles and Interpretation*, Second Edition. W. H. Freeman, 449pp.

Santos, P. S., 2009. Aplicação da espectroscopia de infravermelho próximo na avaliação de alguns atributos de qualidade em pêra "Rocha" e maçã "Gala". Dissertação de Mestrado, ISA-UTL, Lisboa.

Sawyer, J.E, 1994. Concepts of variable rate technology with considerations for fertilizer application. *Journal of production agriculture*, 7: 195-201.

Secretaria do Estado do Paraná (SEP), s/data. Cartografia. Secretaria do Estado do Paraná. <http://www.geografia.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=1042&evento=1>. Acesso em 27/08/2013.

Seelan, S. K., Laguet, S., Casady, G. M., Seielstad, G. A., 2003. Remote sensing applications for precision agriculture: A learning community approach. *Remote Sensing of Environment*, 88: 157-159.

Sereno, P., 2009. Viticultura de precisão: Utilização da detecção remota no estudo da variabilidade espacial do vigor, produção e qualidade, castas "Syrah" e "Touriga franca". Dissertação de mestrado em viticultura e enologia, Universidade Técnica de Lisboa.

Serrano, J., Peça, J., Silva, J., Shahidian, S., 2010. Medição e mapeamento da condutividade eléctrica aparente do solo em pastagens. *Revista de Ciências Agrárias*, 5-14.

Silleos, N., Alexandridis, T., Gitis, I., Perakis, K., 2006. Vegetation Indices: advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years. *Geocarto International*, 21: 21-28p.

Smith, B., Knorr, W., Widlowski, J., Pinty, B., Gobron, N., 2008. Combining remote sensing data with process modelling to monitor boreal conifer forest carbon balances. *Forest Ecology and Management*, 255: 2985-3994.

Sonka, S. T., 1997. *Precision Agriculture in the 21<sup>st</sup> Century; Geospatial and Information Technologies in Crop Management*. National Academy Press, Washington, D.C., 149pp.

Stabile, M e Balastreire, L., 2006. Comparação de três receptores GPS para uso em agricultura de precisão. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, 26: 215-223.

Thomas, D. L., Perry, C. D., Vellidis, V., Durrenre, J. S., Kutz, L. J., Kvien, C. K., Boydell, B., Hamrita, T. K., 1999. Development and implementation of a load cell yield monitor for peanut. *Applied Engineering in Agriculture*, 15: 211-216.

Tinoco, I., Pestana, M., 2008. A qualidade da cortiça versus modalidades de gestão do montado de sobro na região de Setúbal. *Vida Rural*, 1734: 30-32.

Tinoco, I., Pestana, M., Nóbrega, F., 2009. A Qualidade da Cortiça Versus Modalidades de Gestão em Montado de Sobro. *INIA/IRB, Silva Lusitana* 17: 131-158.

Tomé, M. 2004. Modelo de crescimento e produção para a gestão do montado de sobro em Portugal. Projecto POCTI/AGR/35172/99. Relatório Final – Relatório de Execução Material (Volume I). Publicações GIMREF RFP 1/2004. Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Agronomia. Centro de Estudos Florestais. Lisboa. 89 pp.

Tomppo, E., Olsson, H., Ståhl, G., Nilsson, M., Hagner, O., Katila, M., 2008. Combining national forest inventory field plots and remote sensing data for forest database. *Remote Sensing of Environment*, 112: 1982-1999.

Thornthwaite, C. W., Mather, J. R., 1957. Instructions and Tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. Publications in Climatology, Drexel Institute of Technology, New Jersey.

Tristany, M. 2010. Um sistema de informação para a análise multi-dimensional da actividade agrícola. Aplicação em diversos casos do panorama agrícola nacional. Tese de Doutoramento, ISA-UTL, Lisboa, 316pp.

Turner, D., Guzy, M., Lefsky, M., Ritts, W., Tuyl, S., Law, B., 2004. Monitoring Forest Carbon Sequestration with Remote Sensing and Carbon Cycle Modeling. *Environmental Management*, 33: 457-466.

Van Deursen W.P.A., 1995. Geographical Information Systems and Dynamic Models. Ph.D. thesis, Utrecht University, NGS Publication 190, 198 pp.

Vieira, H., 2009. Análise de características da cortiça amadia relevantes para a sua qualidade industrial. Dissertação para obtenção de grau de Mestre. ISA-UTL. Lisboa, 51pp.

Wang, J., Sammis, T., Gutshick, V., 2010. Review of satellite remote sensing use in forest health studies. *The Open Geography Journal*, 3: 28-42.

- Warren, G., Metternicht, G., 2005. Agricultural applications of high-resolution digital multispectral imagery: evaluating within-field spatial variability of canola (*Brassica napus*) in Western Australia. *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*, 71: 595-602p
- Wasseige, C., Defourny, P., 2004. Remote sensing of selective logging impact for tropical forest management. *Forest Ecology and Management*, 188: 161-173.
- Willmott, C. J., 1981. On the validation o models. *Physical Geography*, 2: 184-194
- Willmott, C. J., 1984. On the evaluation of model performance in physical geography. *Spatial Statistics and Models*. 443-460.
- Weichelt, H., Rosso, P., Marx, A., Reigber, S., Douglass, K., Heynen, M., 2012. The RapidEye Red Edge Band. White Paper. RapidEye. 6pp
- Wilkerson, J. B., Moody, F. H., Hart, W. E., 2002. Implementation and field evaluation of a cotton yield monitor. *Applied Engineering in Agriculture*, 18: 153-159.
- Wu, C., Chen, J., Desai, A., Hollinger, D., Arain, M., Margolis, H., Gough, C., Staebler, R., 2012. Remote sensing of canopy light use efficiency in temperate and boreal forests of North America using MODIS imagery. *Remote Sensing Environment*, 118: 60-72.
- Yang, C., Liu, T., Everitt, J., 2008. Estimating cabbage physical parameters using remote sensing technology. *Crop Protection*, 27: 25-35.
- Zhang, N., Wang, M., Wang, N., 2002. Precision agriculture - a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36: 113-132.
- Anónimo. <http://shumank1947.blogspot.pt/>. Acesso em 28/08/2013.
- MolecularExpressions. <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/lightandcolor/electromagintro.html>. Acesso em 24/05/2013.

## 7. ANEXOS

### 1. Dados Climáticos de Évora

Ano	Mês	Dia	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Precipitação (mm)
2012	01	01	13,00	3,89	0,00
2012	01	02	15,00	5,89	2,03
2012	01	03	14,11	1,89	0,00
2012	01	04	16,22	3,61	0,00
2012	01	05	12,22	4,61	0,00
2012	01	06	14,72	4,89	0,00
2012	01	07	17,78	4,50	0,00
2012	01	08	16,00	3,61	0,00
2012	01	09	16,72	2,89	0,00
2012	01	10	14,50	1,89	0,00
2012	01	11	15,00	2,22	0,00
2012	01	12	15,11	2,39	0,00
2012	01	13	15,72	5,78	0,00
2012	01	14	14,50	2,00	0,00
2012	01	15	11,78	4,78	5,08
2012	01	16	10,39	3,00	3,05
2012	01	17	14,28	3,39	0,00
2012	01	18	15,11	3,00	0,00
2012	01	19	16,39	2,28	0,00
2012	01	20	12,61	2,22	0,00
2012	01	21	17,89	5,28	0,00
2012	01	22	18,11	1,28	0,00
2012	01	23	16,72	1,78	0,00
2012	01	24	16,11	3,72	0,00
2012	01	25	14,89	3,50	0,00
2012	01	26	14,11	3,89	0,00
2012	01	27	12,00	6,00	0,51
2012	01	28	15,22	3,39	0,00
2012	01	29	14,39	1,00	0,00
2012	01	30	14,61	0,89	0,00
2012	01	31	15,89	0,00	0,00
2012	02	01	13,61	-0,11	0,00
2012	02	02	10,28	2,22	0,00
2012	02	03	8,89	-3,39	0,00
2012	02	04	9,72	-3,28	0,00
2012	02	05	14,28	-2,72	0,00
2012	02	06	17,00	7,11	0,00
2012	02	07	16,39	5,28	0,00
2012	02	08	12,22	1,50	0,00
2012	02	09	10,28	-1,61	0,00
2012	02	10	14,28	-3,11	0,00
2012	02	11	13,22	1,11	0,00
2012	02	12	10,00	-0,78	0,00
2012	02	13	12,11	-1,72	0,00
2012	02	14	14,11	1,00	0,00
2012	02	15	13,22	1,72	0,00



2012	02	16	16,50	1,28	0,00
2012	02	17	15,00	1,89	0,00
2012	02	18	16,28	2,22	0,00
2012	02	19	17,22	3,00	0,00
2012	02	20	17,78	4,11	0,00
2012	02	21	17,22	-0,61	0,00
2012	02	22	18,50	1,72	0,00
2012	02	23	19,78	2,89	0,00
2012	02	24	19,61	1,00	0,00
2012	02	25	21,00	2,00	0,00
2012	02	26	19,00	3,28	0,00
2012	02	27	17,89	2,39	0,00
2012	02	28	18,50	1,72	0,00
2012	02	29	20,61	2,28	0,00
2012	03	01	15,11	2,00	0,00
2012	03	02	17,50	3,39	0,00
2012	03	03	18,28	1,11	0,00
2012	03	04	19,11	7,39	0,00
2012	03	05	19,22	7,39	0,00
2012	03	06	18,72	4,39	0,00
2012	03	07	18,78	8,78	0,00
2012	03	08	23,39	5,00	0,00
2012	03	09	22,39	6,28	0,00
2012	03	10	21,72	3,72	0,00
2012	03	11	23,28	4,22	0,00
2012	03	12	24,28	5,11	0,00
2012	03	13	25,28	7,39	0,00
2012	03	14	26,11	7,72	0,00
2012	03	15	20,89	6,89	0,00
2012	03	16	19,72	8,39	0,00
2012	03	17	17,28	3,72	0,00
2012	03	18	16,39	3,22	0,00
2012	03	19	17,61	4,22	0,00
2012	03	20	17,39	4,11	0,00
2012	03	21	17,89	3,50	0,00
2012	03	22	20,89	3,00	0,00
2012	03	23	25,39	6,50	0,00
2012	03	24	19,89	11,22	0,00
2012	03	25	25,00	11,28	0,00
2012	03	26	24,89	11,00	0,00
2012	03	27	23,78	7,22	0,00
2012	03	28	24,00	8,89	0,00
2012	03	29	21,39	8,50	0,00
2012	03	30	13,89	11,22	19,05
2012	03	31	20,61	9,61	2,54

2012	04	01	19,00	10,00	0,00
2012	04	02	18,78	11,00	1,02
2012	04	03	14,72	10,00	0,00
2012	04	04	16,22	9,00	0,00
2012	04	05	14,78	3,89	0,00
2012	04	06	14,50	2,11	2,03
2012	04	07	17,78	1,78	0,00
2012	04	08	21,61	5,11	0,00
2012	04	09	24,72	8,22	0,00
2012	04	10	18,61	8,22	0,00
2012	04	11	15,22	5,11	2,03
2012	04	12	16,50	9,28	0,00
2012	04	13	16,22	6,22	0,00
2012	04	14	16,50	8,61	5,59
2012	04	15	16,61	5,78	0,00
2012	04	16	19,78	5,78	0,00
2012	04	17	20,39	6,28	0,00
2012	04	18	16,22	9,39	0,00
2012	04	19	16,50	9,39	1,52
2012	04	20	19,11	6,72	0,00
2012	04	21	18,22	8,72	0,00
2012	04	22	19,22	9,22	0,00
2012	04	23	19,00	5,89	0,00
2012	04	24	19,22	6,50	0,00
2012	04	25	17,78	5,50	0,00
2012	04	26	14,61	9,39	6,10
2012	04	27	15,11	9,00	2,54
2012	04	28	16,00	7,39	0,51
2012	04	29	16,11	5,28	2,03
2012	04	30	17,50	2,00	1,02
2012	05	01	18,11	3,61	1,02
2012	05	02	16,28	6,72	10,92
2012	05	03	16,89	11,28	6,60
2012	05	04	18,61	9,72	4,06
2012	05	05	20,11	11,50	3,05
2012	05	06	20,89	5,78	0,00
2012	05	07	19,28	9,39	2,03
2012	05	08	24,78	14,78	1,02
2012	05	09	30,39	10,22	0,00
2012	05	10	32,00	14,78	0,00
2012	05	11	29,39	14,61	0,00
2012	05	12	33,11	17,11	0,00
2012	05	13	32,89	17,39	0,00
2012	05	14	32,50	18,50	0,00
2012	05	15	32,89	11,89	0,00

2012	05	16	36,22	15,72	0,00
2012	05	17	27,11	13,89	0,00
2012	05	18	25,22	11,28	0,00
2012	05	19	18,61	10,78	2,03
2012	05	20	16,72	7,00	3,05
2012	05	21	20,00	8,89	0,00
2012	05	22	26,28	9,78	0,00
2012	05	23	31,72	12,50	0,00
2012	05	24	32,78	16,28	0,00
2012	05	25	25,72	10,50	0,00
2012	05	26	23,22	7,89	0,00
2012	05	27	24,89	10,11	0,00
2012	05	28	29,11	11,89	0,00
2012	05	29	27,28	10,78	0,00
2012	05	30	32,39	13,28	0,00
2012	05	31	33,00	15,61	0,00
2012	06	01	31,89	16,61	0,00
2012	06	02	27,00	17,11	0,00
2012	06	03	28,22	16,00	0,00
2012	06	04	30,22	14,61	0,00
2012	06	05	30,22	15,72	0,00
2012	06	06	27,89	14,89	0,00
2012	06	07	27,00	16,00	0,00
2012	06	08	24,61	13,00	0,00
2012	06	09	26,72	9,72	0,00
2012	06	10	27,22	17,89	0,00
2012	06	11	24,50	16,61	0,00
2012	06	12	25,28	11,78	0,00
2012	06	13	29,00	11,22	0,00
2012	06	14	27,72	9,89	0,00
2012	06	15	29,28	11,72	0,00
2012	06	16	28,61	13,78	0,00
2012	06	17	30,89	14,89	0,00
2012	06	18	26,78	16,78	0,00
2012	06	19	27,22	9,50	0,00
2012	06	20	29,22	9,00	0,00
2012	06	21	28,78	17,00	0,51
2012	06	22	31,11	10,00	0,00
2012	06	23	34,11	11,50	0,00
2012	06	24	38,78	14,00	0,00
2012	06	25	39,78	19,00	0,00
2012	06	26	40,39	20,89	0,00
2012	06	27	36,89	21,00	0,00
2012	06	28	32,28	15,89	0,00
2012	06	29	27,11	12,72	0,00
2012	06	30	25,50	11,28	0,00

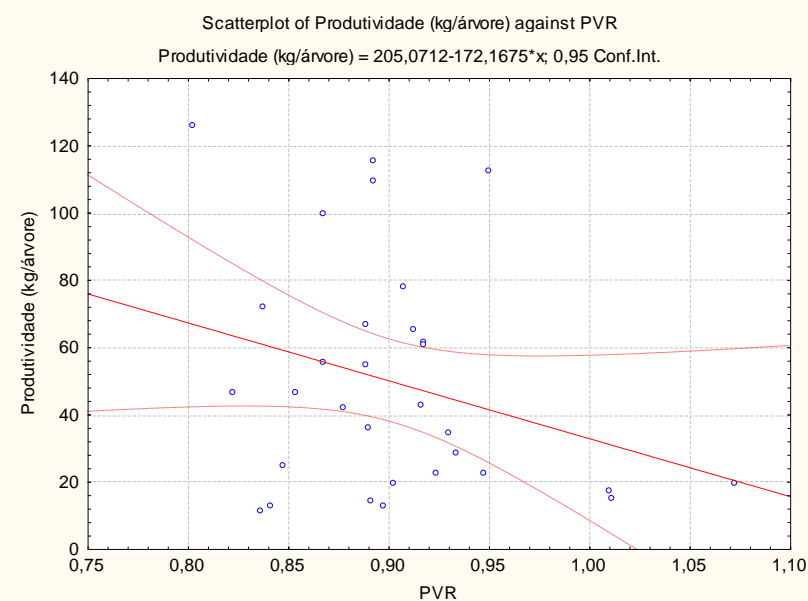
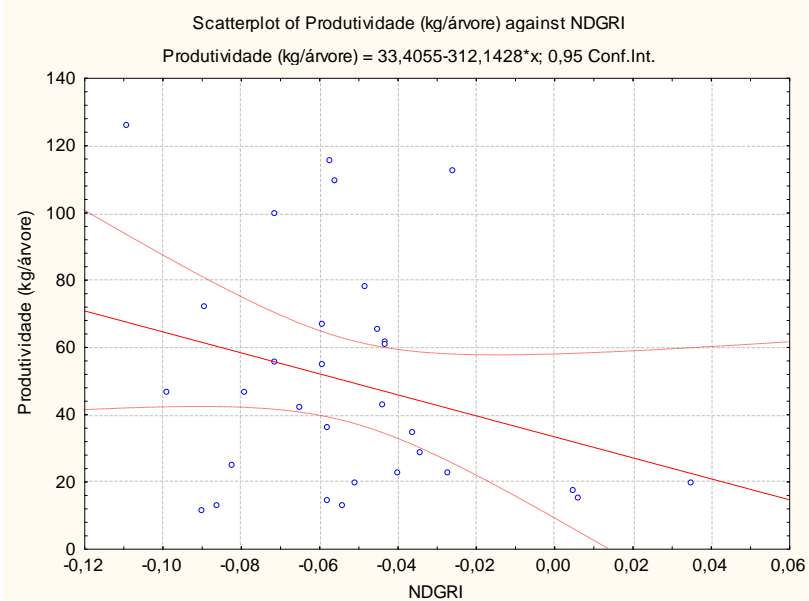
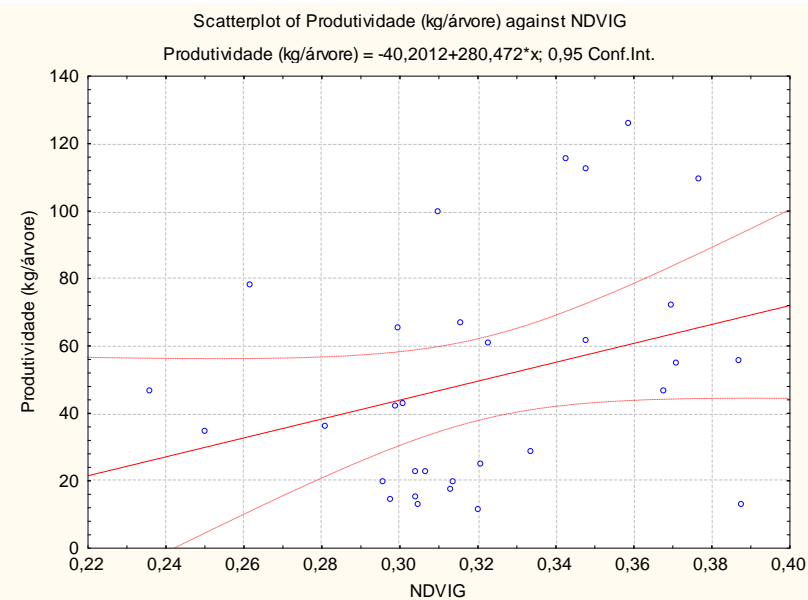
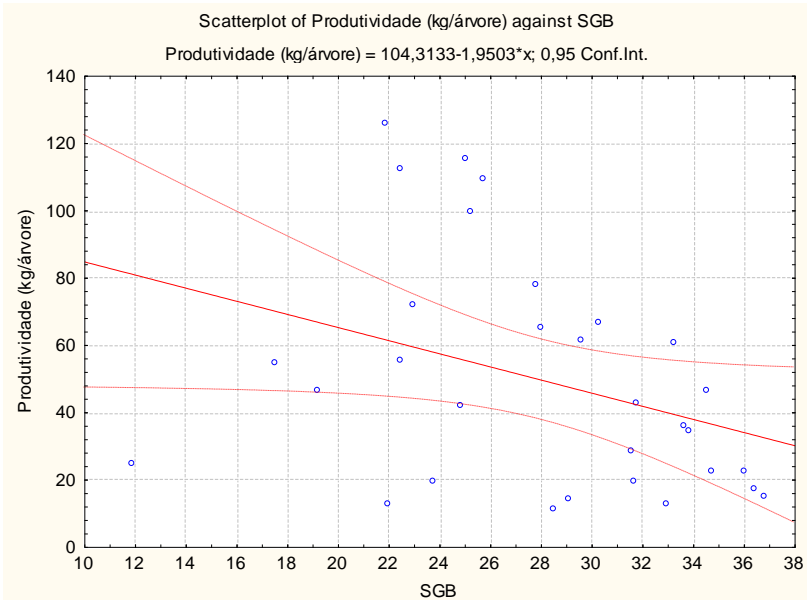
2012	07	01	29,00	12,22	0,00
2012	07	02	33,28	12,11	0,00
2012	07	03	33,11	15,00	0,00
2012	07	04	28,89	16,00	0,00
2012	07	05	27,50	13,72	0,00
2012	07	06	29,78	13,00	0,00
2012	07	07	27,89	15,11	0,00
2012	07	08	30,89	13,11	0,00
2012	07	09	29,50	13,72	0,00
2012	07	10	27,72	11,39	0,00
2012	07	11	27,89	12,89	0,00
2012	07	12	33,61	12,22	0,00
2012	07	13	32,78	12,78	0,00
2012	07	14	29,72	14,28	0,00
2012	07	15	34,00	12,50	0,00
2012	07	16	39,28	17,28	0,00
2012	07	17	39,39	19,00	0,00
2012	07	18	40,89	19,22	0,00
2012	07	19	38,89	17,61	0,00
2012	07	20	34,28	15,00	0,00
2012	07	21	35,00	16,72	0,00
2012	07	22	37,39	17,61	0,00
2012	07	23	35,50	15,78	0,00
2012	07	24	32,50	15,11	0,00
2012	07	25	34,28	16,50	0,00
2012	07	26	31,50	15,11	0,00
2012	07	27	29,28	15,00	0,00
2012	07	28	29,78	14,00	0,00
2012	07	29	33,22	14,28	0,00
2012	07	30	35,22	12,61	0,00
2012	07	31	35,22	11,11	0,00
2012	08	01	32,00	14,11	0,00
2012	08	02	33,11	16,89	0,00
2012	08	03	33,78	13,78	0,00
2012	08	04	32,22	15,50	0,00
2012	08	05	26,78	16,61	0,00
2012	08	06	29,78	14,11	0,00
2012	08	07	35,72	13,61	0,00
2012	08	08	35,72	15,22	0,00
2012	08	09	39,11	17,39	0,00
2012	08	10	40,22	20,11	0,00
2012	08	11	33,78	19,78	0,00
2012	08	12	29,89	16,89	0,00
2012	08	13	31,00	14,50	0,00
2012	08	14	30,78	15,00	0,00
2012	08	15	22,11	16,78	1,27

2012	08	16	33,61	14,61	0,00
2012	08	17	35,11	14,39	0,00
2012	08	18	34,72	14,11	0,00
2012	08	19	35,28	14,00	0,00
2012	08	20	39,11	19,89	0,00
2012	08	21	38,39	21,11	0,00
2012	08	22	34,89	14,11	0,00
2012	08	23	31,11	14,72	0,00
2012	08	24	29,61	11,28	0,00
2012	08	25	30,39	19,72	0,00
2012	08	26	32,89	12,78	0,00
2012	08	27	29,72	13,61	0,00
2012	08	28	32,89	14,50	0,00
2012	08	29	29,00	14,78	0,00
2012	08	30	30,72	14,50	0,00
2012	08	31	33,28	15,89	0,00
2012	09	01	33,89	15,78	0,00
2012	09	02	33,11	15,28	0,00
2012	09	03	33,11	15,50	0,00
2012	09	04	34,11	16,89	0,00
2012	09	05	35,00	15,61	0,00
2012	09	06	34,50	15,11	0,00
2012	09	07	32,39	17,00	0,00
2012	09	08	31,22	15,89	0,00
2012	09	09	29,72	16,39	0,00
2012	09	10	29,28	15,72	0,00
2012	09	11	32,11	13,78	0,00
2012	09	12	35,00	17,89	0,00
2012	09	13	33,89	16,22	0,00
2012	09	14	34,11	16,28	0,00
2012	09	15	35,61	15,22	0,00
2012	09	16	31,72	13,11	0,00
2012	09	17	30,11	15,39	0,00
2012	09	18	33,22	19,89	0,00
2012	09	19	31,78	15,28	0,00
2012	09	20	30,28	16,11	0,00
2012	09	21	30,28	17,22	0,00
2012	09	22	30,78	13,78	0,00
2012	09	23	22,39	16,39	25,91
2012	09	24	24,28	12,39	0,00
2012	09	25	22,89	14,11	0,00
2012	09	26	21,78	13,22	12,95
2012	09	27	20,89	13,00	2,03
2012	09	28	19,89	13,28	0,76
2012	09	29	23,89	15,00	4,06
2012	09	30	26,28	12,28	0,00

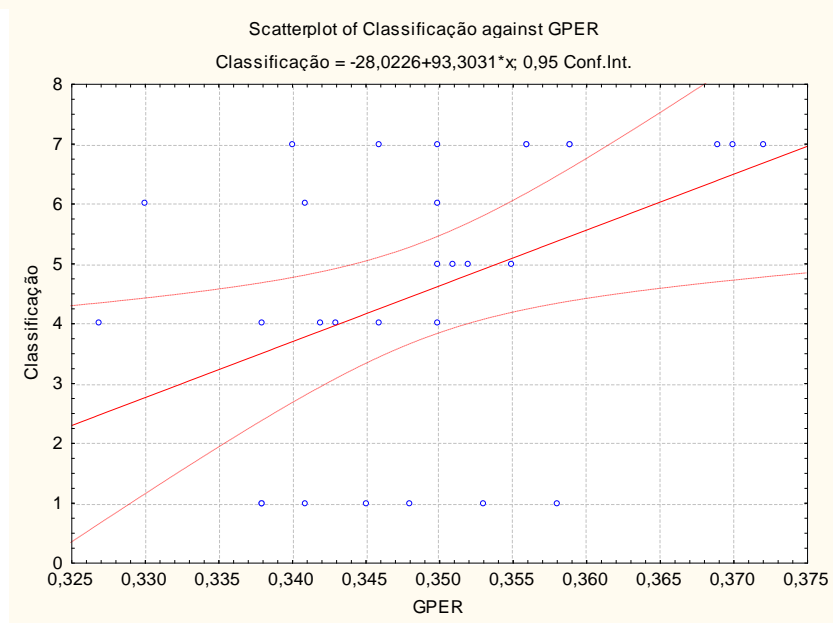
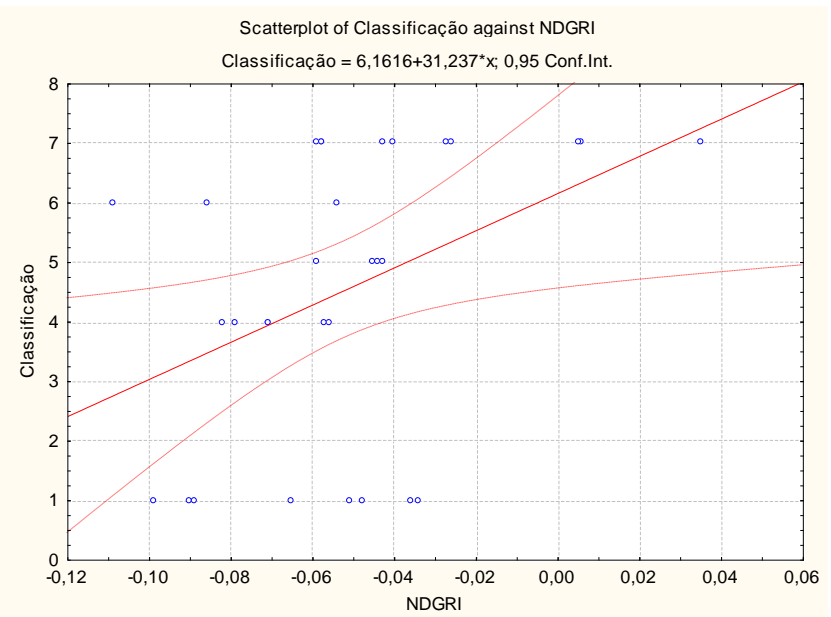
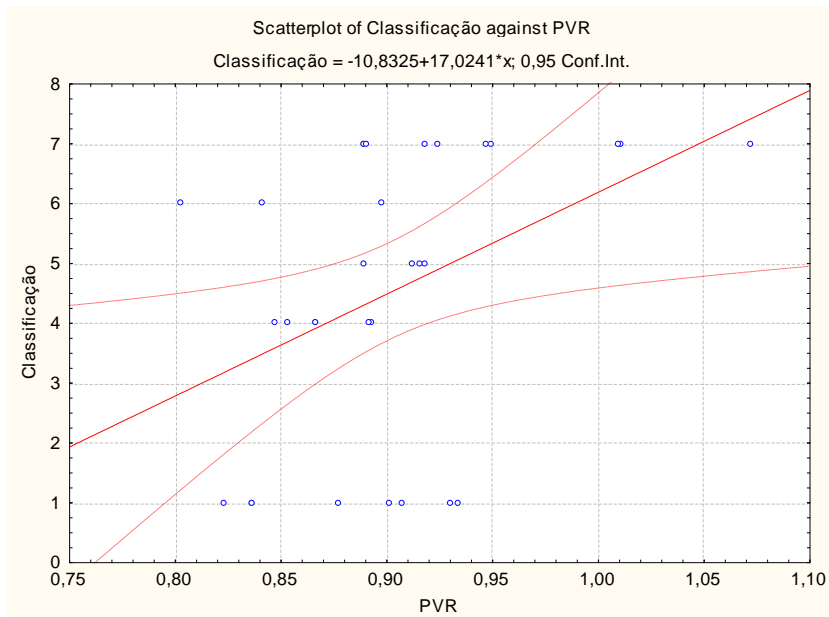
2012	10	01	26,50	11,78	0,00
2012	10	02	26,61	12,28	0,00
2012	10	03	27,28	12,39	0,00
2012	10	04	28,78	12,22	0,00
2012	10	05	26,22	12,11	0,00
2012	10	06	26,22	14,61	0,00
2012	10	07	30,11	13,39	0,00
2012	10	08	30,72	13,39	0,00
2012	10	09	29,39	16,28	0,00
2012	10	10	27,89	18,39	0,00
2012	10	11	23,72	15,61	3,05
2012	10	12	23,11	14,22	0,00
2012	10	13	22,50	11,50	0,00
2012	10	14	21,89	10,11	0,51
2012	10	15	21,22	9,39	0,00
2012	10	16	23,11	7,39	0,00
2012	10	17	22,78	8,28	3,05
2012	10	18	15,28	10,61	29,21
2012	10	19	17,39	8,39	0,00
2012	10	20	19,50	8,78	0,00
2012	10	21	18,39	7,11	2,03
2012	10	22	22,78	16,22	1,02
2012	10	23	25,00	13,72	0,00
2012	10	24	21,39	15,50	3,30
2012	10	25	18,78	14,22	7,11
2012	10	26	20,22	13,78	13,97
2012	10	27	20,50	13,61	0,00
2012	10	28	16,00	7,89	0,00
2012	10	29	18,39	4,78	0,00
2012	10	30	18,28	9,61	12,19
2012	10	31	18,11	6,22	0,00
2012	11	01	19,50	9,89	0,00
2012	11	02	18,28	8,22	0,00
2012	11	03	20,11	13,39	16,00
2012	11	04	18,39	11,11	29,97
2012	11	05	15,11	4,72	0,00
2012	11	06	17,00	8,22	0,00
2012	11	07	14,50	8,22	6,10
2012	11	08	16,61	10,11	50,04
2012	11	09	16,11	6,72	0,51
2012	11	10	17,11	6,61	1,02
2012	11	11	13,89	8,28	0,51
2012	11	12	17,00	5,50	0,00
2012	11	13	18,22	6,22	0,00
2012	11	14	18,61	4,78	0,00
2012	11	15	19,11	8,61	5,08

2012	11	16	16,00	11,39	27,18
2012	11	17	16,61	12,61	26,16
2012	11	18	16,89	9,61	0,00
2012	11	19	16,39	7,72	0,00
2012	11	20	14,28	5,61	0,00
2012	11	21	15,28	8,39	2,03
2012	11	22	16,61	4,39	0,00
2012	11	23	15,22	6,39	0,00
2012	11	24	18,00	11,50	0,00
2012	11	25	18,22	13,78	4,06
2012	11	26	14,39	8,61	0,00
2012	11	27	12,00	5,78	0,00
2012	11	28	12,28	3,50	0,00
2012	11	29	12,22	6,00	0,00
2012	11	30	9,00	6,11	0,00
2012	12	01	11,39	2,89	0,00
2012	12	02	12,61	1,89	0,00
2012	12	03	13,61	0,28	0,00
2012	12	04	14,39	4,50	0,51
2012	12	05	13,50	4,00	0,00
2012	12	06	10,61	6,28	2,03
2012	12	07	17,50	8,89	9,91
2012	12	08	15,11	5,11	0,25
2012	12	09	12,89	3,89	0,00
2012	12	10	15,28	4,78	0,00
2012	12	11	13,89	2,61	0,00
2012	12	12	9,00	1,39	0,00
2012	12	13	14,89	1,22	3,05
2012	12	14	15,50	9,50	3,05
2012	12	15	16,50	12,50	22,61
2012	12	16	16,28	11,72	0,25
2012	12	17	15,61	13,50	4,06
2012	12	18	15,89	10,72	0,00
2012	12	19	15,22	9,28	0,00
2012	12	20	16,72	9,72	2,03
2012	12	21	16,11	8,28	0,00
2012	12	22	16,00	8,89	0,00
2012	12	23	16,00	5,28	0,00
2012	12	24	18,00	8,22	0,00
2012	12	25	13,61	8,22	12,95
2012	12	26	14,11	7,11	0,00
2012	12	27	12,61	0,78	0,00
2012	12	28	12,89	0,89	0,00
2012	12	29	13,39	0,50	0,51
2012	12	30	14,22	2,39	0,00
2012	12	31	8,61	1,50	2,03

## 2. Correlações







### 3. Dados de inventário medidos no campo

Nº árvore amostrada	Perímetro altura do peito (m)	Raio altura do peito (m)	Diâmetro altura do peito (m)	Perímetro na base (m)	Perímetro altura do peito descortçado (m)	Raio altura do peito descortçado (m)	Espessura da cortiça (m)	Raio 0	Raio 90	Raio 180	Raio 270	Raio médio da copa (m)	Perímetro médio da copa (m)	Área média (m <sup>2</sup> )	Altura fuste (m)	Altura bifurcação (m)	Nº pernadas	Nº pernadas descortçadas	Altura descortçamento fuste (m)	Comprimento descortçamento pernadas (m)	Altura descortçamento vertical (m)	Superfície descortçada (m <sup>2</sup> )	Altura total (m)	Altura base da canópia (m)	Altura da canópia (m)	Perímetro das pernadas a descortçar (m)	Produtividade (kg/árvore)	Espessura cozida	Nº linhas (1linha=2,256mm)	Classe real	Classificação
11	1,44	0,2	0,5	2,18	1,3	0,2	0,02	5	5,3	3,2	3,2	4,2	26,2	54,8	2,5	2,9	2	0	2,3	0	2,3	3,312	8,3	2,5	5,8	0	22,4	13,72	6,08	7	7
12	1,2	0,2	0,4	2,2	0,99	0,2	0,03	5,1	2	2,5	4,7	3,6	22,5	40,2	1,9	2,3	2	0	1,7	0	1,7	2,04	7,4	2,1	5,3	0	15,2	22,61	10,02	7	7
14	0,94	0,1	0,3	1,3	0,81	0,1	0,02	3,2	2	3,1	2,9	2,8	17,6	24,6	3,5	3,7	2	0	2,3	0	2,3	2,162	9,7	3,2	6,5	0	12,5	29,46	13,06	6	6
15	1,36	0,2	0,4	2,06	1,24	0,2	0,02	4	3,4	3,1	4	3,6	22,8	41,3	1,7	2,2	3	3	0	0,7	2,9	3,944	6,6	2,4	4,2	1	43	30,28	13,42	5	5
16	1,31	0,2	0,4	1,85	1,03	0,2	0,04	4	4,5	4,5	3,5	4,1	25,9	53,5	2,5	2,9	3	3	0	1,9	3,4	4,454	9,1	2,8	6,3	0,79	55,2	40,38	17,9	4	4
17	1,44	0,2	0,5	1,92	1,24	0,2	0,03	4,7	4,8	4,7	4,3	4,6	29,1	67,2	1,9	2,3	3	3	0	0,5	2,7	3,888	8,6	2,7	5,9	0,83	36	24,22	10,74	7	7
18	1,12	0,2	0,4	1,45	0,93	0,1	0,03	3,4	3,3	2,3	1,9	2,7	17,1	23,3	2	2,3	2	0	1,8	0	1,9	2,128	5,8	2,4	3,4	0	11	23,01	10,2	3	1
19	1,48	0,2	0,5	1,98	1,31	0,2	0,03	1,1	3,9	4	3,5	3,1	19,6	30,7	2	2,5	3	3	0	1,1	3,5	5,18	10,2	5	5,2	1,04	41,7	23,41	10,38	3	1
20	1,35	0,2	0,4	1,8	1,1	0,2	0,04	5,7	3,5	3,1	3,6	4,0	25,0	49,6	2,1	2,6	3	0	2,1	0	2,1	2,835	7,9	2,1	5,8	0	24,7	29,88	13,24	4	4
21	1,94	0,3	0,6	2,79	1,62	0,3	0,05	3,8	6,5	4,3	4,8	4,9	30,5	73,9	1,7	2,1	4	4	0	2,2	4,2	8,148	9,8	3,9	5,9	1,21	109,4	41,18	18,25	4	4
22	1,34	0,2	0,4	1,93	1,15	0,2	0,03	3,1	3,2	4	4,9	3,8	23,9	45,4	1,9	2,25	2	2	0	1,3	3,3	4,422	9,3	2,9	6,4	0,95	46,5	27,46	12,17	4	4
23	1,8	0,3	0,6	2,6	1,63	0,3	0,03	4,5	6,2	5,5	5,1	5,3	33,5	89,1	1,5	2,1	3	3	0	2,5	4,7	8,46	9,5	3	6,5	1,14	99,8	28,66	4	4	4
24	1,5	0,2	0,5	2,55	1,32	0,2	0,03	4,7	4,9	4,8	4,2	4,7	29,2	67,9	1,65	3,1	4	4	0	1,65	3,6	5,4	9,2	2,7	6,5	0,9	77,6	27,86	12,35	3	1
25	1,69	0,3	0,5	2,19	1,44	0,2	0,04	5,2	4,5	4,5	4,4	4,7	29,2	67,9	1,8	2,25	3	3	0	1,6	3,9	6,591	8,9	2,7	6,2	1,24	112,7	43,61	19,33	7	7
26	2,35	0,4	0,7	2,96	2,15	0,3	0,03	6,1	6,6	6,5	5,4	6,2	38,6	118,8	1,7	2,1	4	4	0	2,2	4	9,4	9,3	2,5	6,8	1,18	115,4	41,8	19,97	4	4
27	1,47	0,2	0,5	1,98	1,22	0,2	0,04	4,3	3,5	3,3	6,8	4,5	28,1	62,9	2,7	3,3	3	3	0	0,7	4,3	6,321	9,1	3,3	5,8	—	61,2	34,72	15,39	7	7
28	1,44	0,2	0,5	1,89	1,27	0,2	0,03	6,8	4,4	4,7	5,2	5,3	33,1	87,4	1,7	2,1	3	3	0	1,8	3,7	5,328	6,9	3,1	3,8	0,93	65,2	26,65	11,81	5	5
29	1,77	0,3	0,6	2,05	1,45	0,2	0,05	4,5	4,7	5,05	4	4,6	28,7	65,4	1,1	1,4	3	3	0	1,6	2,8	4,956	7	2,3	4,7	1,22	66,7	41,8	18,53	5	5
31	1,64	0,3	0,5	2,44	1,49	0,2	0,02	5	4,2	3,3	6	4,6	29,1	67,2	1,7	2,3	3	2	0	2	4,1	6,724	9,4	2,2	7,2	1,1	54,8	23,81	10,55	7	7
32	1,5	0,2	0,5	1,95	1,29	0,2	0,03	5	3	4	4	4,0	25,1	50,3	1,8	2,4	3	3	0	1,1	3,5	5,25	8,7	2,2	6,5	0,98	72,3	27,96	12,39	3	1
33	1,95	0,3	0,6	2,55	1,53	0,2	0,07	8	6,4	3,3	2,5	5,1	31,7	80,1	2,1	2,7	3	3	0	1,3	3,9	7,605	8,9	2,2	6,7	1,31	126	55,74	24,71	6	6
34	0,88	0,1	0,3	1,12	0,68	0,1	0,03	1,4	5,3	3,1	0	2,5	15,4	18,9	2,7	2,9	2	0	1,6	0	1,6	1,408	8,6	2,8	5,8	0	13,1	33,11	14,68	6	6
35	1,43	0,2	0,5	2,1	1,24	0,2	0,03	5,3	4	4	5	4,6	28,7	65,8	1,2	1,6	2	2	0	0,6	2,2	3,146	8,6	2,1	6,5	1,02	28,5	33,11	14,68	3	1
36	1,43	0,2	0,5	2,04	1,29	0,2	0,02	1,2	3,4	3,1	3,3	2,8	17,3	23,8	1,7	2,1	3	0	2	0	2	2,86	8,8	2,8	6	0	19,2	20,58	9,12	7	7
37	1,03	0,2	0,3	1,5	0,84	0,1	0,03	3	4,2	2,7	2,4	3,1	19,3	29,7	2	2,3	2	0	2	0	2	2,06	6,2	2,4	3,8	0	17,3	23,82	10,56	7	7
38	1,28	0,2	0,4	1,88	1,13	0,2	0,02	4,5	4,8	3,4	3	3,9	24,7	48,4	2,1	2,5	2	2	0	0,3	2,7	3,456	8,9	3,1	5,8	0,97	22,3	17,76	7,87	7	7
39	1,14	0,2	0,4	1,45	0,98	0,2	0,03	5,1	3,2	3,2	4,5	4,0	25,1	50,3	1,6	2	2	0	1,7	0	1,7	1,938	6,9	2,1	4,8	0	14,6	22,61	10,02	7	7
40	1,37	0,2	0,4	1,91	1,27	0,2	0,02	5,1	3,1	2,6	3,3	3,5	22,1	39,0	2,2	2,5	2	0	2,1	0	2,1	2,877	7,1	2,2	4,9	0	19,2	12	5,32	3	1
42	1,86	0,3	0,6	2,7	1,62	0,3	0,04	6,2	5,4	5,2	6	5,7	35,8	102,1	1,7	2,3	4	4	0	0,9	3	5,58	9,2	2,4	6,8	1,12	60,7	27,85	12,34	5	5
43	1,35	0,2	0,4	1,67	1,15	0,2	0,03	4	1,8	5,2	5,8	4,2	26,4	55,4	2,7	3,1	2	0	2,5	0	2,5	3,375	8,2	2	6,2	0	34,7	36,34	16,11	3	1
44	1,95	0,3	0,6	2,45	1,8	0,3	0,02	4,2	5,3	3,1	4,1	4,2	26,2	54,8	1,5	2	3	3	0	1,2	2,6	5,07	7,3	2,3	5	1,07	46,4	25,42	11,27	3	1

#### 4. Valores observados de Produtividade (kg/árvore) vs. valores estimados pelos modelos de dados de inventário

Nº árvore amostrada	Produtividade (kg/árvore)	modelo 1 (kg/árvore)	modelo 2.1 (kg/árvore)	modelo 2.2 (kg/árvore)	modelo 2.3 (kg/árvore)	modelo 3 (kg/árvore)	modelo 4 (kg/árvore)	modelo 5.1 (kg/árvore)	modelo 5.2 (kg/árvore)	modelo 5.3 (kg/árvore)	modelo 5.4 (kg/árvore)	modelo 6.1 (kg/árvore)	modelo 6.2 (kg/árvore)	modelo 6.3 (kg/árvore)	modelo 7.1 (kg/árvore)	modelo 7.2 (kg/árvore)	modelo 7.3 (kg/árvore)	modelo 7.4 (kg/árvore)	modelo 8 (kg/árvore)	modelo 9 (kg/árvore)
11	22,40	30,81	63,35	63,42	63,54	43,26	43,20	35,36	36,86	26,08	32,78	34,79	38,81	43,72	33,46	39,21	26,57	39,21	39,14	26,00
12	15,20	18,98	43,19	44,79	45,08	25,74	30,45	18,82	20,32	13,11	13,70	20,55	21,25	20,82	19,34	23,69	18,55	23,69	26,74	16,01
14	12,50	20,11	28,37	24,96	25,09	19,97	31,98	20,41	21,91	14,35	15,53	21,91	22,94	23,02	20,70	25,18	19,32	25,18	15,90	16,97
15	43,00	36,69	54,22	57,17	57,38	45,09	47,79	43,57	45,07	32,53	42,26	41,87	47,53	55,09	40,48	46,92	30,55	46,92	34,75	30,96
16	55,20	41,44	53,85	53,29	53,54	46,53	50,99	50,20	51,70	37,73	49,91	47,58	54,57	64,27	46,14	53,14	33,76	53,14	32,14	34,96
17	36,00	36,17	62,06	63,42	63,54	47,82	47,41	42,84	44,34	31,96	41,42	41,25	46,75	54,08	39,86	46,23	30,19	46,23	39,14	30,52
18	11,00	19,80	36,52	38,65	38,93	24,35	31,56	19,96	21,46	14,01	15,02	21,53	22,47	22,40	20,32	24,76	19,11	24,76	23,12	16,70
19	41,70	48,19	63,18	66,55	66,61	59,11	54,96	59,64	61,14	45,14	60,80	55,72	64,58	77,34	54,20	62,00	38,33	62,00	41,43	40,66
20	24,70	26,37	55,26	56,40	56,62	36,36	39,11	29,16	30,66	21,22	25,63	29,45	32,22	35,13	28,17	33,39	23,56	33,39	34,22	22,25
21	109,40	75,80	97,98	103,23	101,99	108,17	66,87	98,22	99,72	75,41	105,32	88,96	105,54	130,76	87,14	98,21	57,03	98,21	72,34	63,96
22	46,50	41,14	53,65	55,62	55,85	47,59	50,80	49,79	51,29	37,40	49,43	47,23	54,12	63,70	45,78	52,75	33,56	52,75	33,70	34,71
23	99,80	78,70	87,86	91,95	91,22	101,32	67,86	102,28	103,78	78,59	110,00	92,45	109,85	136,38	90,61	102,01	59,00	102,01	62,04	66,41
24	77,60	50,24	65,64	68,13	68,15	61,64	56,05	62,50	64,00	47,38	64,10	58,18	67,62	81,30	56,64	64,68	39,72	64,68	42,60	42,39
25	112,70	61,32	79,90	83,16	82,76	80,43	61,29	77,98	79,48	59,53	81,97	71,52	84,06	102,74	69,86	79,21	47,22	79,21	54,50	51,74
26	115,40	87,45	129,53	136,89	133,52	148,51	70,63	114,50	116,00	88,18	124,10	102,98	122,82	153,30	101,04	113,48	64,92	113,48	106,98	73,79
27	61,20	58,80	66,58	65,77	65,84	66,40	60,19	74,47	75,97	56,77	77,92	68,50	80,33	97,88	66,86	75,92	45,52	75,92	40,85	49,62
28	65,20	49,57	62,33	63,42	63,54	58,23	55,70	61,56	63,06	46,65	63,02	57,37	66,63	80,00	55,84	63,80	39,27	63,80	39,14	41,82
29	66,70	46,11	83,33	89,54	88,91	71,10	53,80	56,73	58,23	42,85	57,44	53,21	61,49	73,31	51,71	59,26	36,92	59,26	59,93	38,90
31	54,80	62,55	75,92	79,18	78,92	78,59	61,82	79,71	81,21	60,88	83,96	73,01	85,89	105,13	71,34	80,83	48,06	80,83	51,23	52,78
32	72,30	48,84	65,21	68,13	68,15	60,56	55,31	60,55	62,05	45,85	61,85	56,50	65,55	78,60	54,98	62,85	38,78	62,85	42,60	41,21
33	126,00	70,75	100,27	104,04	102,76	104,24	65,06	91,17	92,67	69,87	97,18	82,88	98,05	120,99	81,12	91,58	53,61	91,58	73,10	59,70
34	13,10	13,10	20,97	20,43	20,47	14,13	20,70	10,60	12,10	6,66	4,22	13,47	12,53	9,44	12,33	15,98	14,57	15,98	13,77	11,05
35	28,50	29,27	59,02	62,64	62,77	41,55	41,84	33,20	34,70	24,39	30,29	32,94	36,51	40,73	31,62	37,18	25,52	37,18	38,58	24,70
36	19,20	26,61	58,07	62,64	62,77	39,15	39,34	29,48	30,98	21,47	26,00	29,73	32,57	35,58	28,45	33,69	23,72	33,69	38,58	22,45
37	17,30	19,16	30,48	31,78	32,01	21,60	30,71	19,08	20,58	13,31	14,00	20,77	21,53	21,18	19,57	23,93	18,68	23,93	19,35	16,17
38	22,30	32,15	50,12	50,96	51,23	38,63	44,31	37,23	38,73	27,55	34,94	36,41	40,79	46,31	35,06	40,96	27,47	40,96	30,62	27,13
39	14,60	18,03	38,47	40,18	40,47	23,45	29,10	17,49	18,99	12,07	12,17	19,41	19,84	18,98	18,21	22,44	17,91	22,44	24,00	15,21
40	19,20	26,76	56,40	57,95	58,15	37,34	39,49	29,70	31,20	21,65	26,26	29,92	32,80	35,89	28,63	33,90	23,83	33,90	35,29	22,58
42	60,70	51,91	93,37	96,77	95,83	81,22	56,91	64,84	66,34	49,22	66,80	60,20	70,10	84,54	58,64	66,88	40,85	66,88	66,36	43,80
43	34,70	31,40	57,50	56,40	56,62	40,55	43,69	36,18	37,68	26,73	33,73	35,50	39,68	44,85	34,16	39,98	26,96	39,98	34,22	26,49
44	46,40	47,17	97,12	104,04	102,76	80,91	54,39	58,21	59,71	44,01	59,15	54,48	63,07	75,36	52,98	60,65	37,64	60,65	73,10	39,80

## 5. Análise de variância dos modelos de regressão

	Multiple R	Multiple R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	SS Model	df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	p
<b>1) Produtividade</b>	0,692688	0,479817	0,399788	16781,75	4	4195,437	18193,59	26	699,7534	5,995594	0,001478
<b>2) Produtividade</b>	0,863187	0,745091	0,575152	26059,82	12	2171,651	8915,520	18	495,3067	4,384458	0,002495
<b>1) Classificação</b>	0,638488	0,407667	0,316539	69,19826	4	17,29956	100,5437	26	3,867065	4,473565	0,006961
<b>2) Classificação</b>	0,818512	0,669961	0,504942	113,7205	10	11,37205	56,02141	20	2,801070	4,059895	0,003720

## 6. Estimativa dos parâmetros da Produtividade (modelo 2)

	Comment (B/Z/P)	Produtividade (kg/árvore) Param.	Produtividade (kg/árvore) Std.Err	Produtividade (kg/árvore) t	Produtividade (kg/árvore) p	-95,00% Cnf.Lmt	+95,00% Cnf.Lmt	Produtividade (kg/árvore) Beta (β)	Produtividade (kg/árvore) St.Err.β	-95,00% Cnf.Lmt	+95,00% Cnf.Lmt
Intercept		-50547,5	16119,14	-3,13587	0,005713	-84412,6	-16682,5				
NDVI	Pooled										
PVR		4288,0	1651,61	2,59627	0,018242	818,1	7757,9	7,1527	2,75498	1,365	12,9407
PCD		-888,6	380,62	-2,33461	0,031348	-1688,2	-88,9	-3,9801	1,70484	-7,562	-0,3984
PPR		-3460,7	2142,92	-1,61494	0,123716	-7962,8	1041,4	-5,8511	3,62310	-13,463	1,7608
IPVI	Pooled										
DVI	Pooled										
SGB		-46,9	19,95	-2,35206	0,030253	-88,8	-5,0	-8,4135	3,57706	-15,929	-0,8983
RB	Pooled										
NDVIG		3920,8	1585,19	2,47336	0,023576	590,4	7251,1	4,3859	1,77325	0,660	8,1113
NDGRI	Pooled										
NDGBI		10321,7	4457,98	2,31533	0,032600	955,8	19687,6	6,6021	2,85146	0,611	12,5928
NDRBI	Pooled										
I		20,3	8,30	2,45056	0,024715	2,9	37,8	22,2396	9,07532	3,173	41,3062
HUE	Pooled										
S		-61,2	26,16	-2,34081	0,030955	-116,2	-6,3	-17,7884	7,59925	-33,754	-1,8230
RPER	Pooled										
GPER	Pooled										
BPER	Pooled										
Área (m2)	Pooled										
Perímetro (m)		2,1	0,54	3,87297	0,001115	1,0	3,2	0,6081	0,15700	0,278	0,9379
Raio com base na área (m)	Pooled										
Raio com base no perímetro (m)	Pooled										
Rácio dos raios		63294,2	19403,75	3,26196	0,004330	22528,4	104060,0	114,3619	35,05931	40,705	188,0188
Circularidade		-26566,9	8055,66	-3,29792	0,004000	-43491,2	-9642,6	-77,1196	23,38429	-126,248	-27,9910
Compacidade		1327,1	418,01	3,17469	0,005246	448,8	2205,3	37,6839	11,87010	12,746	62,6220

## 7. Estimativa dos parâmetros da Classificação (modelo 2)

	Comment (B/Z/P)	Classificação Param.	Classificação Std.Err	Classificação t	Classificação p	-95,00% Cnf.Lmt	+95,00% Cnf.Lmt	Classificação Beta ( $\beta$ )	Classificação St.Err. $\beta$	-95,00% Cnf.Lmt	+95,00% Cnf.Lmt
Intercept		386,907	126,4377	3,06006	0,006179	123,16	650,652				
NDVI		104,170	69,1279	1,50691	0,147466	-40,03	248,368	1,8687	1,240093	-0,7181	4,45550
PVR	Pooled										
PCD		-20,433	19,4146	-1,05247	0,305133	-60,93	20,065	-1,3138	1,248276	-3,9176	1,29008
PPR	Pooled										
IPVI	Pooled										
DVI	Pooled										
SGB		2,555	0,7214	3,54234	0,002044	1,05	4,060	6,5785	1,857101	2,7046	10,45233
RB	Pooled										
NDVIG	Pooled										
NDGRI	Pooled										
NDGBI		-552,181	162,5714	-3,39655	0,002864	-891,30	-213,063	-5,0699	1,492659	-8,1835	-1,95625
NDRBI	Pooled										
I	Pooled										
S		-0,749	0,2404	-3,11638	0,005439	-1,25	-0,248	-3,1236	1,002305	-5,2143	-1,03279
RPER	Pooled										
GPER	Pooled										
BPER	Pooled										
Área (m2)		0,092	0,0774	1,18285	0,250740	-0,07	0,253	1,3245	1,119791	-1,0113	3,66039
Perímetro (m)		-3,288	1,0426	-3,15366	0,004997	-5,46	-1,113	-13,7433	4,357892	-22,8337	-4,65292
Raio com base na área (m)		23,530	7,8972	2,97957	0,007409	7,06	40,004	11,1562	3,744242	3,3459	18,96659
Raio com base no perímetro (m)	Pooled										
Rácio dos raios		-604,777	264,1776	-2,28928	0,033074	-1155,84	-53,712	-15,6855	6,851726	-29,9780	-1,39307
Circularidade		285,111	139,5382	2,04325	0,054427	-5,96	576,183	11,8802	5,814373	-0,2484	24,00878
Compacidade	Pooled										

**8. Valores observados vs. estimados para o modelo 2) Produtividade de detecção remota**

Código árvores amostradas	Valor Observado	Valor Estimado
11	22,40	15,69
12	15,20	-3,84
14	12,50	19,79
15	43,00	27,77
16	55,20	57,73
17	36,00	38,32
18	11,00	9,69
19	41,70	50,06
20	24,70	11,56
21	109,40	97,53
22	46,50	78,78
23	99,80	74,16
24	77,60	84,60
25	112,70	96,57
26	115,40	63,46
27	61,20	52,07
28	65,20	76,37
29	66,70	73,79
31	54,80	62,54
32	72,30	71,09
33	126,00	112,84
34	13,10	23,59
35	28,50	55,53
36	19,20	28,86
37	17,30	19,85
38	22,30	26,11
39	14,60	38,74
40	19,20	45,88
42	60,70	70,12
43	34,70	17,79
44	46,40	48,24

**9. Valores observados vs. estimados para o modelo 2) Classificação de detecção remota**

Código árvores amostradas	Valor Observado	Valor Estimado
11	7,0	7,1
12	7,0	6,8
14	6,0	7,0
15	5,0	4,9
16	4,0	3,6
17	7,0	5,4
18	1,0	0,7
19	1,0	2,1
20	4,0	4,1
21	4,0	4,3
22	4,0	5,1
23	4,0	2,2
24	1,0	1,4
25	7,0	7,1
26	4,0	4,2
27	7,0	3,5
28	5,0	3,1
29	5,0	6,0
31	7,0	6,5
32	1,0	3,8
33	6,0	4,9
34	6,0	5,4
35	1,0	4,6
36	7,0	5,9
37	7,0	7,6
38	7,0	6,7
39	7,0	5,5
40	1,0	1,9
42	5,0	5,3
43	1,0	2,2
44	1,0	1,2

## 10. Cartografia de índices de vegetação e índices geométricos

